Memoirs

Cal
Lib

鹿 児 島 大 学

水 産 学 部 紀 要

第 6 巻

MEMOIRS OF THE FACULTY OF FISHERIES KAGOSHIMA UNIVERSITY

Vol. 6

JUN 1958
LIBRARY
POFI
FISH & WILDLIFE
SERVICE

Published by
The Faculty of Fisheries, Kagoshima University
Kagoshima, Japan
March, 1958

広島大学水畜産学部紀要　第1巻　第2号

Journal of the Faculty of Fisheries and Animal Husbandry, Hiroshima University　Vol. 1　No. 2　1956

目　次　CONTENTS

三村　耕

仔緬羊の発育に関する研究 …… 203–266

MIMURA, Kô: Studies on the Growth of Corriedale Lambs in Japan (Summary in English, pp. 258–263)

小野茂樹

和牛市場価格変動の特殊性について …… 267–287

ONO, Shigeki: Observation on the Price Behavior of the Japanese Native Catttle (Summary in English, pp. 286–287)

松平康雄・川本彊雄

海水の二，三の物理化学的性質について …… 289–296

MATSUDAIRA, Yasuo and KAWAMOTO, Takeo: On some Physico-Chemical Properties of Sea Water (Summary in English, p. 296)

雄・川本彊雄・北村弘行

黒潮域の溶存酸素の分布について－Oxygen Anomalyについて－…… 297–301

MATSUDAIRA, Yasuo; KAWAMOTO, Takeo and KITAMURA, Hiroyuki: On the Distributions of Dissolved Oxygen in the Kuroshio Region (Summary in English, p. 300)

鹿児島大学水産学部紀要　第 6 巻

目　　次

1. 海上微細気象の観測及び研究（英文）……高橋　淳雄……1
2. 湖水及び海の水温年変化資料の物理的処理（英文）……高橋　淳雄… 47
3. 灯に集まる魚群の立体的記録例について……黒木敏郎，(故)中島三千雄… 77
4. 電戟捕鯨用のパイプ銛発射機と同電纜ロープとに関する研究……黒木敏郎，奈良迫嘉一… 82
5. 魚群生態に関与する水中音の基礎的研究（第Ⅱ報）
　—水中で発するヒモの音について—……黒木　敏郎… 89
6. 集魚用螢光電灯の研究（第Ⅰ報）
　—各色光の波長分布並に白熱灯との比較—……黒木敏郎，中山博… 95
7. 大型対称式回流水槽について（続）……奈良迫嘉一，金森政治… 99
8. 漁船模型に依る回流水槽と曳航水槽との抵抗試験結果の比較に就いて……奈良迫嘉一…106
9. 鹿児島湾内産主要魚類の漁況と環境要因についての研究—Ⅲ
　小サバについて……田ノ上豊隆…109
10. 魚類燻製品の研究—燻製品中のホルムアルデハイド量について—……越智　通秋…115
11. ビューレット試薬による魚肉蛋白質の迅速定量（Ⅰ）
　—呈色反応の促進と発色液の濁りの除去—……大城善太郎…119
12. ビューレット試薬による魚肉蛋白質の迅速定量（Ⅱ）
　—固形試料の直接定量について—……大城善太郎…125
13. 冷蔵及び氷蔵の細菌学的研究（1）……高田幸二，内山武保…128
14. 魚肉中のアミンの生成について（V）
　—魚肉中のヒスタミンの生成に対する温度の影響（2）—……太田冬雄，金子弘助…134
15. 魚肉中のアミンの生成について（VI）
　—魚肉中のヒスタミンの生成に対する調味料の影響—……太田冬雄，波江野利勝…139
16. カビ付によって起るカツオ節の化学成分の変化について……金沢昭夫，柿本大壱…144
17. 魚肉に対する Cl^{36} の挙動……高田幸二，斉藤要，日高富男…148
18. S^{35}の海藻への転移に関する研究（Ⅰ）……斉藤要，鮫島宗雄，田中剛…153

Digitized by the Internet Archive
in 2025

https://archive.org/details/memoirs-of-the-faculty-of-fisheries-kagoshima-university_1958-03_6

Micro-meteorological Observations and Studies over the Sea

by

Tadao TAKAHASHI

Abstract

Observed data — wind speed, temperature, and vapour pressure at 5 levels above the sea surface up to the 400cm height, evaporation from the sea surface, and wind wave elements — obtained at Kagoshima Bay during 1953–1956 are given in Part I.

In Part II, it is concluded that the layer of hydrodynamically smooth flow, surmounted with the hydrodynamically rough flow of land origin, exsists always near by the sea surface, and that the thickness (h) of the lower layer of smooth flow can be expressed by a rough empirical formula of $h \fallingdotseq a\sqrt{t}$, where t is progressive time (ratio of fetch and wind speed at 400cm height) and a is a constant depending upon stability condition, i.e. $a=3.1$ (under stable condition)$\sim$20.0 (under strong instability).

The critical values of friction velocity for the first formation of wind waves and the generation of whitecaps are determined empirically as 3.7cm/sec and 17cm/sec respectively in Part III; and humidity profiles and evaporation from the sea surface are discussed in Part IV.

Contents

Introduction.
Part I. Micro-meteorological Observations at Kagoshima Bay during 1953–1956.
1. Method of observation.
2. Observed data.
Part II. Wind Profiles over the Sea not far apart from Land.
1. Historical note.
2. Wind profiles under neutral condition of stability.
3. Wind profiles under stable condition.
4. Wind profiles under unstable condition.
5. Conclusions and remarks.
Part III. Wind Profiles and Wind Waves.
1. Introduction.
2. Critical friction velocity for the first formation of wind waves.
3. Generation of whitecaps.
4. Friction velocity and wave length and height.
5. Conclusion.
Part IV. Humidity Profiles over the Sea and Evaporation from its Surface.
1. Humidity profiles over the sea.
2. Evaporation from the sea surface.
3. Conclusion.
Acknowledgement.
References.

Introduction

It is noticed recently that the lowest layer of the atmosphere next to the sea surface up to several meters, as well as next to the ground surface, is a quite special region where comparatively weak wind and less austausch prevail. Detailed studies on phenomena occurring in this layer are desired as micro-meteorological problems.

Micro-meteorological studies over the sea have such an advantage that a physical treatment is comparatively easy owing to physically simple character of sea surface. On the other hand, observed data over the sea are less numerous than over the ground, due to increased difficulties in observations. From this point of view, the author have carried out micro-meteorological observations over the sea at Kagoshima Bay and attempts to get new knowledge concerning the problems of wind profile and evaporation and so on which give rise to discussion in this branch of meteorology.

Part I Micro-meteorological Observations at Kagoshima Bay during 1953–1956.

1. Method of Observation.

Observing levels of 25, 50, 100, 200, and 400cm above the sea surface are conveniently selected for measurements of wind speed, air temperature, and vapour pressure. Surface water temperature, evaporation, wave length, wave height, and wave period are also observed.

Thermocouple anemometers (S. Kawata and others[1]), which are always free from the effect of temperature of ambient air, are used for wind speed measurements, keeping their hotwire in plumb line to prevent them from the effect of the variation of wind direction. Detailed type of them made and used by the author for the practical purpose is somewhat different from Kawata's type, but it is quite same in principle. Reading in millivoltmeter (5mV in full scale) is converted into wind speed (cm/sec) by means of calibration curves, obtained from careful experiments in our laboratory.

In actual observations over the sea, thermocouple anemometers mounted at 5 levels are connected with a switch board and a millivoltmeter. Average values for 30 seconds for each anemometer are read in turn, and these measurements are repeated 4 times successively. Mean values of these four 30 second averages for each specified level are calculated and are regarded as the wind speed at the specified levels. Since it takes 10 minutes during the observations stated above, mean wind speed during the identical 10 minutes are measured simultaneously with cup anemometers (one contact for ca 50m of air flow) at three levels mostly (100, 200, and 400cm excepting the early observations). One of cup anemometers is calibrated in the wind tunnel in Meteorological Agency of Japan and others are calibrated on the roof of Kagoshima Meteorological Observatory and our laboratry comparing with standard ones.

For temperature and vapour pressure measurements, a set of dry and wet thermopiles (12 couples of copper-constantan) is used at 25 and 50cm levels successively and Assmann's aspiration psychrometers at 50, 100, 200, and 400cm levels.

One side junction of thermopile, shaped like a comb and eqipped with a radiation shield, is mounted at a observing level; while the other side, sealed with paraffin wax into 12 small glass tubes, is floated at the sea surface, maintaining the glass tubes vertical to the surface by a float (wooden frame supporting the glass tubes) and a sinker. The temperature difference between air and water is read directly in millivoltmeter (5mV in full scale) and the reading is converted into temperature (to the

order of 0.1°C) by means of calibration curves. Air temperature is obtained from this temperature difference and from the surface water temperature, simultaneously observed with a mercury thermometer graduated at every 1/10°C. Average values for 30 seconds are read twice at two levels in turn. Mean values of these two averages for each specified level are employed as temperature data at the specified levels. Assmann's psychrometers are read after 3 minute aspiration. When the two different instruments give different values for the same level of 50cm, the values obtained with thermopile are rejected.

For evaporation measurements, a pan is used. This is a cylindrical vessel (20cm in diameter and 25cm in depth) equipped with a small wooden float surrounding its body. Containing the neighbouring sea water of 13cm deep to be evaporated, it is floated on the sea surface, after the float is adjusted to keep the inside water level as nearly same as outside sea level. To protect the pan from inundation due to waves, it is moored to the inside of a floating square frame (2m in side) without floor and with sinkers, locating at a nearly central point of the frame. Six hours later, the decrease of the contained water in the pan is measured with a common rain measuring glass.

Water temperature inside of the pan agreed always with that of the outside of even the frame, but the exposure of the contained water to be evaporated is not under the natural condition owing to the edge of the pan and the frame. The disturbances of the inside water are of course much less than those of outside water.

Another cylindrical pan (20cm in diameter and 10cm in depth) containing the neighbouring sea water of 2cm deep, in the interest of comparison, is exposed on the deck of the observing boat and the decrease of the contained water for 6 hours is measured with the rain measuring glass.

To measure the wave length, waves are photographed including two scales, crossed perpendicularly to each other and suspended horizontally at a short distance above wave crests. It is obvious that the wave length (L) is given by the relation of

$$L = \frac{l}{N} \sin\left(\tan^{-1}\frac{m}{l}\right),$$

when portions of the two scales covering N waves are l cm and m cm in length respectively. When wave length exceeds about 200cm, aditional measurements are made by the well-known usual method estimating wave length on the basis of observing ship's length.

To observe wave height and period, a floating scale of well-known Froude's type is used. The heights and numbers of successive individual waves passing through the location of the scale during one minute are measured by naked eyes, and then mean height and wave period are calculated. For very short waves, average height is estimated directly, because individual wave heights cannot be observed by this primitive way.

2. Observed Data

The observing points are indicated in Fig. 1 and the observing periods are shown

in the following table. All instruments are calibrated carefully in our laboratory before and after each series of observations. When the calibration curves obtained after a specified series of observations disagree with those before the observations, the specified series of observed data are all rejected. (These series are not included in the table.)

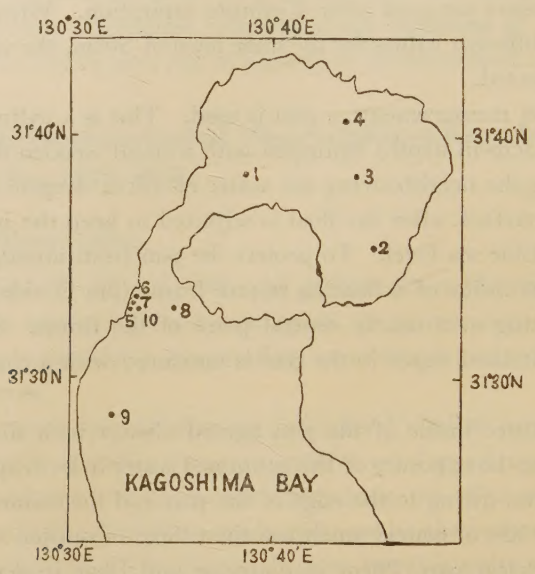


Fig. 1. Map showing observing points.

Observing periods

Series	Period	Station	No. of obs.	Method of setting
A	Sept., 1953	1, 2, 3, 4	4	Boat
B	Oct., 1953	5	2	Fixed to sea floor
C	Dec., 1953-Jan., 1954	6	31	Fixed to sea floor
D	Dec., 1954	7	148	Boat
E	April-May, 1955	8, 9, 10	69	Boat
F	Aug., 1955	10	15	Boat
G	Oct.-Nov., 1955	9, 7	83	Boat
H	Aug.-Sept., 1956	9	50	Boat
		Total	402	

For the series B and C, the instruments are mounted to movable arms stretching from a pole fixed to the sea floor and are moved up and down along the pole according to the tide to retain them, except for cup anemometers, at specified elevations.

For other series, observations are made on a small fishing boat (9m in length), which is moored to three buoys (glass ball of ca 40cm in diameter) connected respectively to dropped three anchors surrounding the boat. The instruments are mounted to arms stretching outerward from a pole set up specially for the present purpose at a corner of its stern. The stern has been kept formost to wind during observations,

adjusting the lengths of rope from the boat to the buoys and also the locations on the boat connecting the ends of the ropes. It took only 1–5 minutes to complete this procedure of keeping the stern windward at a shift of wind or tidal current. Furthermore, to get more reliable data, the boat is equipped specially with a sea-anchor preventing it from undesirable tossing, though the weighty engine lying at the center on the boat floor has the similar effect. The setting of the instruments and examples of the procedure at a shift of wind or tidal current are illustrated in Fig. 2.

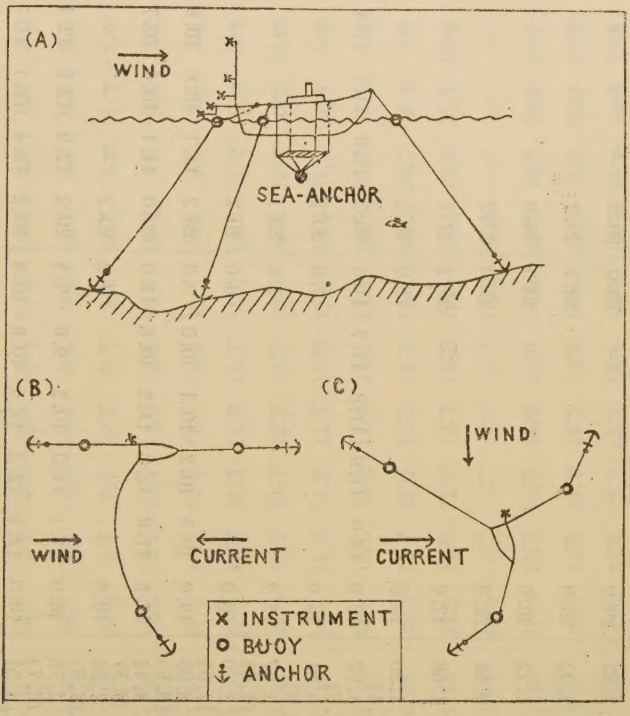


Fig. 2. (A) Arrangement of observing boat and setting of instruments.
(B), (C) Examples of situation under different directions of wind and tidal current.

The observed data are listed in the following three tables. In the table wind speed, temperature, and vapour pressure are denoted by u (in m/sec), T (in °C), and e (in mb) respectively. Subscripts indicate specified observing heights (cm) above the sea surface, T_0 is the surface water temperature, and e_0 is saturation vapour pressure at the sea surface and is obtained from the saturation value corresponding to the surface water temperature multiplied by a constant of 0.98 for its lowering due to salinity. Values in bracket in wind speed column are obtained with cup anemometers.

Observed data of wind, temperature, and vapour pressure

No.	Date	Time	St.	Wind speed (m/sec)					Temperature (°C)						Vapour pressure (mb)						Wind dir.	Fetch (m)
				u_{25}	u_{50}	u_{100}	u_{200}	u_{400}	T_0	T_{25}	T_{50}	T_{100}	T_{200}	T_{400}	e_0	e_{25}	e_{50}	e_{100}	e_{200}	e_{400}		
	1953	h m																				
1	Sept. 8	11.00	1	1.00	1.05	1.10	1.16	1.20	28.9	—	—	—	—	28.5	39.0	—	—	—	—	—	NNE	10,200
2	〃 〃	13.00	2	1.32	1.38	1.44	1.58	2.30	29.0	—	—	—	—	30.0	39.3	—	—	—	—	—	ESE	2,700
3	〃 〃	13.30	3	1.63	1.75	1.86	1.88	2.02	29.0	—	—	—	—	30.1	39.3	—	—	—	—	—	ESE	5,800
4	〃 〃	14.30	4	0.94	1.00	1.05	1.12	1.22	28.8	—	—	—	—	30.5	38.8	—	—	—	—	—	ESE	9,000
5	Oct. 30	16.30	5	0.21	0.23	0.26	0.30	0.38	22.8	—	—	—	—	21.0	27.2	—	—	—	—	—	calm	—
6	〃 〃	17.00	〃	1.01	1.12	1.22	1.40	1.68	22.8	—	—	—	—	20.2	27.2	—	—	—	—	—	N	180
7	Dec. 23	11.20	6	0.97	1.08 ((1.0))*	1.14	1.31	1.50 ((1.4))	18.0	—	—	—	—	11.0	20.2	—	—	—	—	—	N	200
8	〃 〃	12.10	〃	1.15	1.35 ((1.4))	1.42	1.65	1.92 ((1.8))	18.0	12.0	11.9	11.8	11.7	11.6	20.2	12.0	11.7	11.4	10.4	10.2	N	200
9	〃 〃	12.40	〃	1.64	1.97 ((2.3))	2.35	2.58	3.01 ((2.8))	18.0	—	—	—	—	11.8	20.2	—	—	—	—	—	N	200
10	〃 24	10.20	〃	0.84 ((0.8))	0.89	0.95 ((0.9))	0.96	1.07 ((1.0))	17.9	—	—	—	—	7.8	20.1	—	—	—	—	—	N	200
11	〃 〃	10.40	〃	1.22	1.30 (1.3)	1.44 ((1.4))	1.50	1.60 ((1.6))	18.0	—	—	—	—	8.0	20.2	—	—	—	—	—	N	200
12	〃 〃	11.30	〃	2.07	2.35 ((2.5))	2.70 ((3.0))	3.18	3.63 ((3.6))	18.0	10.7	10.2	10.1	10.0	9.0	20.2	11.1	10.8	10.8	10.8	10.6	N	200
13	〃 〃	12.00	〃	2.39 ((2.5))	2.95	3.40 ((3.7))	3.82	4.44 (4.3)	17.8	11.8	12.0	11.3	10.6	11.0	20.0	11.1	10.8	10.7	10.7	10.7	N	200
14	〃 25	09.00	〃	0.90 ((0.9))	0.95	0.98 ((1.0))	1.13	1.34 ((1.3))	18.0	—	—	—	—	9.2	20.2	—	—	—	—	—	NW	90
15	〃 〃	09.30	〃	1.20 ((1.2))	1.30	1.38 ((1.4))	1.55	1.76 ((1.7))	18.0	11.1	11.0	10.3	9.6	9.5	20.2	12.9	12.6	12.1	11.5	11.4	NW	90
16	〃 〃	10.30	〃	1.09 ((1.0))	1.13	1.20 ((1.2))	1.36	1.51 ((1.5))	18.0	12.1	12.2	11.5	10.8	10.8	20.2	12.4	12.1	11.7	11.0	11.0	N	200
17	〃 〃	11.30	〃	0.70	0.80	0.83	1.05	1.29	18.0	13.4	13.5	12.9	12.3	12.3	20.2	13.1	12.6	11.7	10.7	10.6	N	200
18	〃 〃	12.10	〃	0.80	0.85	0.88	1.02	1.15	18.0	13.8	13.9	13.5	13.1	12.9	20.2	13.0	12.4	11.7	11.1	11.1	N	200
19	1954 Jan. 6	08.20	〃	1.24 ((1.2))	1.33	1.42 (1.4)	1.51	1.56 ((1.5))	16.7	9.0	7.4	6.3	6.3	5.6	18.6	10.0	8.5	7.7	7.6	7.4	NNE	400

* Values in double bracket are obtained at different levels (cm), which are as follows: No. 7, 60, 270; No. 8, 80, 290; No. 9, 90, 300; No. 10, 40, 130, 380; No. 11, 140, 390; No. 12, 70, 160, 410; No. 13, 30, 150; No. 14, 40, 160, 410; No. 15, 20, 140, 390; No. 16, 20, 140, 390; No. 19, 20, 350;

Observed data of wind, temperature, and vapour pressure (Continued)

No.	Date	Time	St.	Wind speed (m/sec)					Temperature (°C)						Vapour pressure (mb)						Wind dir.	Fetch (m)
				u_{25}	u_{50}	u_{100}	u_{200}	u_{400}	T_0	T_{25}	T_{50}	T_{100}	T_{200}	T_{400}	e_0	e_{25}	e_{50}	e_{100}	e_{200}	e_{400}		
	1954	h m																			
20	Jan. 6	09.10	6	0.99	1.08	1.11	1.29	1.30	17.0	11.7	11.5	10.7	10.1	9.8	19.0	10.7	9.1	7.9	7.8	8.0	NNE	400
					(1.0)		(1.1)	(1.3)														
21	〃 〃	10.10	〃	1.00	1.09	1.16	1.23	1.33	17.0	12.7	12.5	11.9	11.9	11.8	19.0	8.5	8.0	7.4	7.1	7.0	NNE	400
					(1.1)		(1.2)	(1.3)														
22	〃 〃	10.50	〃	1.40	1.48	1.67	1.72	1.87	17.3	12.8	12.7	12.1	12.1	11.8	19.3	8.8	8.0	7.0	7.0	7.0	NNE	400
					(1.5)	(1.6)		(1.8)														
23	〃 7	08.10	〃	2.05	2.12	2.30	2.59	2.95	16.8	9.4	9.2	9.1	9.1	9.0	18.7	9.4	8.9	7.9	7.9	8.3	NNE	400
					(2.0)		(2.3)	(2.9)														
24	〃 〃	09.00	〃	2.45	2.62	2.77	3.08	3.47	16.8	9.4	9.2	9.3	9.3	9.0	18.7	9.8	9.2	7.8	7.5	7.6	NNE	400
					(2.5)		(2.9)	(3.3)														
25	〃 〃	10.00	〃	2.20	2.34	2.47	2.83	3.20	17.2	11.3	11.1	11.3	11.1	10.6	19.2	9.9	8.1	7.2	6.4	6.8	NNE	400
					(2.2)		(2.6)	(3.2)														
26	〃 〃	10.40	〃	2.86	3.04	3.24	3.64	3.94	17.2	11.6	11.4	11.3	11.0	10.4	19.2	8.0	7.3	7.1	6.4	6.2	NNE	400
					(3.1)		(3.6)	(4.0)														
27	〃 〃	11.30	〃	2.45	2.59	2.83	3.23	3.60	17.2	11.8	11.5	11.2	11.1	11.0	19.2	7.2	6.6	6.1	6.0	6.0	NNE	400
					(2.7)		(3.1)	(3.6)														
28	〃 8	09.00	〃	5.50	5.85	6.20	6.58	7.35	16.3	11.1	10.7	10.9	10.9	10.8	18.2	10.3	10.2	10.0	9.9	10.0	NE	22,500
				(5.8)			(6.5)															
29	〃 〃	09.30	〃	4.90	5.15	5.44	5.72	6.13	16.4	11.9	11.2	11.1	11.0	11.0	18.3	11.6	11.8	9.9	9.4	9.5	NE	22,500
				(4.9)			(5.8)															
30	〃 〃	10.00	〃	4.31	4.48	4.80	5.12	5.36	16.4	12.6	12.2	11.3	11.4	11.3	18.3	10.7	9.9	9.8	9.6	9.3	NE	22,500
				(4.3)			(5.1)															
31	〃 〃	10.50	〃	4.68	5.07	5.29	5.70	6.01	16.2	12.7	12.5	12.2	11.8	11.8	18.0	10.7	9.2	9.7	9.3	9.3	NE	22,500
					(5.0)		(5.8)															
32	〃 〃	11.40	〃	3.83	4.07	4.34	4.56	4.85	15.9	12.9	12.8	12.7	12.6	12.6	17.7	10.6	10.2	10.0	9.9	9.9	NE	22,500
					(4.1)		(4.7)															
33	〃 〃	12.00	〃	2.28	2.49	2.59	2.76	2.93	16.0	—	—	—	—	12.8	17.8	—	—	—	—	—	NE	22,500
					(2.5)		(2.8)															
34	〃 14	13.30	〃	1.49	1.85	2.21	2.52	2.84	17.4	15.6	15.2	14.8	15.0	14.8	19.5	13.9	12.8	11.7	11.7	11.2	NNW	120
					(2.0)		(2.4)	(2.9)														
35	〃 〃	14.10	〃	1.77	2.01	2.30	2.75	3.18	17.4	15.0	14.8	14.7	14.6	14.6	19.5	13.3	12.5	11.9	11.6	11.5	NNW	120
					(2.1)			(3.2)														
36	〃 〃	15.00	〃	0.91	1.20	1.55	1.69	1.98	17.3	15.4	15.2	15.1	14.8	15.0	19.3	13.0	11.9	11.6	11.2	10.9	NNW	120
					(1.2)		(1.7)	(1.9)														
37	〃 〃	15.30	〃	2.23	2.74	3.24	4.02	4.67	17.3	—	—	—	—	14.7	19.3	—	—	—	—	—	NNW	120
					(2.9)		(3.9)	(4.8)														
38	Dec. 15	15.00	7	2.60	3.30	3.65	4.11	4.61	18.9	11.2	11.2	11.1	11.2	11.0	21.4	9.0	8.5	8.2	8.5	8.4	NNW	160
						(3.6)	(4.1)	(4.7)														
39	〃 〃	16.00	〃	2.51	2.70	2.84	3.29	3.62	18.9	9.7	9.6	9.5	9.4	9.1	21.4	8.7	8.9	8.2	6.9	5.9	N	200
						(2.9)	(3.3)	(3.5)														

No. 20, 40, 120, 370; No. 21, 140, 390; No. 22, 70, 170, 420; No. 23, 40, 140, 390; No. 24, 40, 140, 390; No. 25, 150; No. 26, 170, 420; No. 27, 70, 190, 440; No. 28, 30, 210; No. 29, 30, 210; No. 30, 30, 220; No. 31, 240; No. 32, 60, 250; No. 33, 70, 250; No. 34, 60, 160, 410; No. 35, 70, 420; No. 36, 40, 180, 430; No. 37, 190, 440;

Observed data of wind, temperature, and vapour pressure (Continued)

No.	Data	Time	St.	Wind speed (m/sec)					Temperature (°C)						Vapoure pressure (mb)						Wind dir.	Fetch (m)
				u_{25}	u_{50}	u_{100}	u_{200}	u_{400}	T_0	T_{25}	T_{50}	T_{100}	T_{200}	T_{400}	e_0	e_{25}	e_{50}	e_{100}	e_{200}	e_{400}		
	1954	h m																			
40	Dec. 15	18.00	7	1.07	1.15	1.27 (1.3)	1.35 (1.3)	1.48 (1.4)	18.8	6.1	6.1	6.2	5.7	5.9	21.3	7.1	7.0	6.4	7.2	6.3	NNW	160
41	〃	〃 19.00	〃	1.30	1.49	1.57 (1.5)	1.67 (1.7)	1.78 (1.8)	18.9	4.8	4.3	4.7	4.5	4.5	21.4	6.8	7.1	7.4	7.4	6.7	NNW	160
42	〃	〃 20.00	〃	1.39	1.41	1.56 (1.6)	1.70 (1.7)	1.76 (1.8)	18.7	—	4.2	4.1	4.0	4.1	21.1	—	7.8	7.3	7.8	6.0	NNW	160
43	〃	〃 21.00	〃	1.66	1.72	1.87 (1.8)	1.95 (1.9)	2.09 (2.0)	18.6	—	2.7	2.6	2.5	2.4	21.0	—	7.8	7.1	6.5	6.7	NNW	160
44	〃	〃 22.00	〃	2.28	2.45	2.60 (2.6)	2.77 (2.8)	3.15 (3.1)	18.6	—	2.7	2.2	1.7	2.2	21.0	—	6.7	6.7	6.7	6.9	NNW	160
45	〃	〃 23.00	〃	2.12	2.23	2.38 (2.3)	2.66 (2.6)	2.97 (2.9)	18.6	—	4.1	3.2	2.3	2.7	21.0	—	7.3	6.8	6.4	6.6	NNW	160
46	〃	16 00.00	〃	1.53	1.60	1.80 (1.7)	1.75 (1.8)	1.87 (1.8)	18.6	—	3.4	3.1	3.1	2.8	21.0	—	7.3	7.0	6.4	6.0	NNW	160
47	〃	〃 01.00	〃	1.59	1.63	1.86 (1.9)	1.96 (2.0)	2.08 (2.0)	18.5	—	4.3	4.0	4.3	3.8	20.9	—	7.2	7.0	6.8	6.6	NNW	160
48	〃	〃 02.00	〃	1.77	1.91	2.06 (2.0)	2.20 (2.2)	2.35 (2.3)	18.5	—	4.5	4.3	4.1	4.0	20.9	—	8.3	7.3	6.3	6.5	NNW	160
49	〃	〃 03.00	〃	1.20	1.45	1.49 (1.4)	1.47 (1.5)	1.64 (1.6)	18.3	—	5.5	5.0	4.5	4.7	20.6	—	8.2	7.5	6.7	6.7	N	200
50	〃	〃 04.00	〃	1.41	1.46	1.63 (1.6)	1.65 (1.6)	1.69 (1.7)	18.4	—	5.3	5.0	4.7	4.7	20.7	—	8.6	7.5	6.3	6.4	NNW	160
51	〃	〃 06.00	〃	1.37	1.42	1.50 (1.4)	1.61 (1.6)	1.67 (1.6)	18.6	—	4.4	4.3	4.2	4.2	21.0	—	8.1	7.4	6.8	6.5	NW	150
52	〃	〃 07.00	〃	1.35	1.65	1.61 (1.7)	1.93 (1.8)	1.95 (1.9)	18.7	—	3.4	3.4	3.4	3.3	21.1	—	8.4	7.4	6.5	6.4	NNW	160
53	〃	〃 08.00	〃	1.37	1.44	1.61 (1.6)	1.75 (1.7)	1.80 (1.8)	18.6	—	4.3	3.9	3.5	3.3	21.0	—	7.1	7.0	6.9	6.4	NW	150
54	〃	〃 09.00	〃	1.16	1.20	1.33 (1.3)	1.35 (1.3)	1.55 (1.6)	18.8	—	11.5	10.6	9.7	9.5	21.3	—	10.0	9.1	8.2	7.6	NW	150
55	〃	〃 10.00	〃	0.50	0.48	0.51 (0.3)	0.54 (0.5)	0.60 (0.7)	19.1	—	14.2	12.8	11.4	11.2	21.7	—	14.1	11.6	9.1	8.3	NW	150
56	〃	〃 11.00	〃	1.08	1.25	1.22 (1.2)	1.39 (1.5)	1.48 (1.5)	19.0	—	16.0	14.0	12.0	11.8	21.5	—	10.1	9.3	8.4	8.4	NW	150
57	〃	〃 12.00	〃	0.67	0.74	0.88 (0.8)	0.85 (0.8)	0.90 (0.9)	19.0	—	12.6	12.6	12.6	12.4	21.5	—	10.5	9.2	7.9	7.9	NE	22, 700
58	〃	〃 13.00	〃	0.80	0.89	1.01 (1.0)	0.99 (1.0)	1.07 (1.1)	18.9	12.8	12.9	12.4	12.1	12.2	21.4	9.5	9.4	9.5	9.4	9.2	NE	22, 700
59	〃	〃 14.00	〃	1.39	1.46	1.63 (1.6)	1.72 (1.7)	2.01 (2.0)	18.8	13.5	13.3	13.5	13.1	13.1	21.3	10.0	9.6	9.2	9.0	8.7	N	200
60	〃	17 09.00	〃	3.38	4.13	4.71 (4.7)	5.39 (5.5)	6.15 (6.1)	18.7	11.0	10.6	10.2	9.8	9.5	21.1	9.9	9.1	8.3	6.8	6.5	N	200

Observed data of wind, temperature, and vapour pressure (Continued)

No.	Date	Time	St.	Wind speed (m/sec)					Temperature (°C)						Vapour pressure (mb)						Wind dir.	Fetch (m)
				u_{25}	u_{50}	u_{100}	u_{200}	u_{400}	T_0	T_{25}	T_{50}	T_{100}	T_{200}	T_{400}	e_0	e_{25}	e_{50}	e_{100}	e_{200}	e_{400}		
	1954	h m																			
61	Dec. 17	10.00	7	3.29	3.87	4.32 (4.3)	5.04 (5.0)	5.53 (5.5)	18.8	13.4	12.5	11.6	10.6	11.2	21.3	11.6	9.4	7.2	6.5	7.2	N	200
62	〃 〃	11.00	〃	2.85	3.05	3.58 (3.5)	3.96 (4.0)	4.50 (4.5)	18.8	12.1	11.6	11.7	11.6	11.4	21.3	8.2	8.1	6.3	6.6	6.4	NW	150
63	〃 〃	12.00	〃	3.16	3.35	3.78 (3.7)	4.24 (4.2)	4.66 (4.7)	18.4	15.7	13.7	12.4	11.4	11.6	20.7	11.4	9.5	8.3	7.6	7.4	N	200
64	〃 〃	13.00	〃	2.71	2.88	3.06 (3.0)	3.50 (3.5)	3.92 (3.9)	18.6	12.9	12.9	12.9	11.8	12.6	21.0	7.7	7.5	7.4	7.3	7.0	NNE	450
65	〃 〃	14.00	〃	2.35	2.52	2.78 (2.7)	2.90 (2.9)	3.07 (3.0)	18.0	13.5	13.2	13.5	12.7	12.4	20.2	8.4	7.2	6.0	6.1	5.1	NE	22,700
66	〃 〃	15.00	〃	2.11	2.24	2.39 (2.4)	2.67 (2.7)	3.13 (3.1)	18.4	15.0	14.4	13.8	13.2	12.8	20.7	9.5	8.7	7.9	6.5	6.2	N	200
67	〃 〃	16.00	〃	1.42	1.59	1.65 (1.6)	1.91 (2.0)	2.16 (2.1)	17.8	13.0	12.4	12.2	12.0	11.8	20.0	7.9	7.5	7.0	6.8	6.6	NNW	160
68	〃 〃	17.00	〃	1.29	1.35	1.44 (1.4)	1.52 (1.6)	1.67 (1.6)	18.4	11.0	10.8	10.6	10.4	10.2	20.7	8.3	7.9	7.4	6.2	6.2	NW	150
69	〃 〃	18.00	〃	1.32	1.42	1.48 (1.4)	1.64 (1.6)	1.70 (1.6)	18.7	8.8	8.5	8.2	8.1	8.4	21.1	8.1	7.8	7.5	7.1	7.2	NNW	160
70	〃 〃	19.00	〃	1.45	1.43	1.61 (1.5)	1.70 (1.7)	1.79 (1.7)	18.4	7.9	7.4	6.9	6.9	6.8	20.7	8.7	8.1	7.6	7.4	7.6	NW	150
71	〃 〃	20.00	〃	1.62	1.66	1.90 (2.0)	2.09 (2.0)	2.12 (2.1)	18.4	6.1	5.6	5.1	5.1	5.4	20.7	8.9	8.1	7.3	7.1	7.3	NW	150
72	〃 〃	21.00	〃	1.66	1.86	1.98 (1.9)	1.95 (1.9)	2.14 (2.1)	18.5	5.6	5.3	5.0	4.8	4.8	20.9	8.7	7.9	7.1	7.2	7.0	WNW	150
73	〃 〃	22.00	〃	1.55	1.69	1.71 (1.8)	1.84 (1.8)	2.01 (2.0)	18.7	5.0	4.4	3.8	3.5	3.4	21.1	8.7	7.9	7.0	6.9	6.6	NNW	160
74	〃 〃	23.00	〃	1.90	1.95	2.17 (2.1)	2.17 (2.1)	2.42 (2.5)	18.7	5.0	4.6	4.2	4.5	5.0	21.1	8.2	7.7	7.3	7.0	7.2	NW	150
75	〃 18	00.00	〃	3.26	3.57	3.74 (3.8)	4.13 (4.1)	4.59 (4.5)	18.6	7.2	6.2	5.4	5.4	4.4	21.0	8.4	8.2	7.9	7.6	7.2	NW	150
76	〃 〃	01.00	〃	1.69	1.80	1.91 (1.9)	2.04 (2.0)	2.16 (2.2)	18.3	5.3	5.2	5.1	4.8	4.8	20.6	7.7	7.6	7.4	7.0	7.0	W	170
77	〃 〃	02.00	〃	2.17	2.29	2.41 (2.5)	2.76 (2.7)	3.18 (3.1)	17.9	5.4	5.2	5.2	4.8	4.6	20.1	7.6	7.3	7.1	6.8	7.0	NW	150
78	〃 〃	03.00	〃	1.97	1.90	2.11 (2.1)	2.27 (2.2)	2.45 (2.5)	17.0	3.8	3.5	3.8	3.3	3.6	19.0	7.1	7.0	6.9	6.7	6.6	NW	150
79	〃 〃	04.00	〃	2.19	2.23	2.54 (2.6)	2.64 (2.5)	2.77 (2.8)	17.1	5.5	4.9	3.6	3.0	2.7	19.1	7.7	7.3	6.8	6.4	6.3	NW	150
80	〃 〃	05.00	〃	1.59	1.56	1.77 (1.6)	2.01 (1.9)	1.99 (1.9)	17.2	4.0	3.8	3.6	3.3	3.3	19.2	8.2	7.5	6.8	6.8	6.7	NW	150
81	〃 〃	06.00	〃	2.07	2.31	2.38 (2.2)	2.38 (2.3)	2.51 (2.4)	17.7	3.3	2.8	2.3	2.0	1.8	19.8	7.6	7.1	6.6	6.4	6.1	W	170

Observed data of wind, temperature, and vapour pressure (Continued)

No.	Date	Time	St.	Wind speed (m/sec)					Temperature (°C)						Vapour pressure (mb)						Wind dir.	Fetch (m)
				u_{25}	u_{50}	u_{100}	u_{200}	u_{400}	T_0	T_{25}	T_{50}	T_{100}	T_{200}	T_{400}	e_0	e_{25}	e_{50}	e_{100}	e_{200}	e_{400}		
	1954	h m																			
82	Dec. 18	07.00	7	2.45	2.50	2.71	2.86	3.07	18.3	3.1	3.1	2.2	1.8	1.6	20.6	7.3	7.3	6.6	6.5	6.2	W	170
						(2.7)	(2.9)	(3.1)														
83	〃	08.00	〃	1.55	1.64	1.75	1.83	2.01	18.0	6.3	5.3	4.3	3.7	3.0	20.2	8.3	8.0	7.7	7.1	6.6	W	170
						(1.8)	(1.9)	(2.0)														
84	〃	09.00	〃	3.33	3.51	3.82	4.35	4.93	18.4	13.8	12.6	11.4	11.3	11.2	20.7	14.6	12.8	11.0	10.5	10.4	NNW	160
						(3.9)	(4.4)	(4.9)														
85	〃	10.00	〃	1.92	2.14	2.30	2.56	2.93	17.4	13.8	13.0	12.2	11.9	12.0	19.5	12.8	11.9	11.1	10.4	10.2	NW	150
						(2.3)	(2.6)	(2.9)														
86	〃	11.00	〃	2.04	2.18	2.35	2.58	3.00	17.0	13.5	13.3	13.5	12.5	12.3	19.0	12.3	11.9	11.4	10.7	10.3	N	200
						(2.3)	(2.5)	(3.0)														
87	〃	12.00	〃	1.86	2.03	2.18	2.47	2.78	17.4	12.8	12.7	12.6	11.9	11.7	19.5	12.7	12.1	11.6	11.6	10.8	NNE	450
						(2.1)	(2.5)	(2.7)														
88	〃	13.00	〃	1.45	1.54	1.65	1.78	1.87	17.8	15.0	14.8	14.6	13.9	13.9	20.0	11.1	10.9	11.1	10.1	9.9	NE	22,700
						(1.6)	(1.8)	(1.8)														
89	〃	14.00	〃	2.15	2.25	2.44	2.64	3.05	17.9	15.9	15.8	15.9	15.0	14.9	20.1	13.4	12.4	11.4	10.6	10.5	NNE	450
						(2.3)	(2.7)	(3.0)														
90	〃	15.00	〃	1.95	2.02	2.20	2.35	2.65	18.1	16.2	16.0	15.8	15.7	15.6	20.3	11.8	11.5	11.8	11.4	11.3	NNE	450
						(2.2)	(2.3)	(2.6)														
91	〃	16.00	〃	0.41	0.38	0.40	0.53	0.57	17.6	16.0	15.8	16.0	16.2	15.8	19.7	12.2	11.8	11.3	10.7	10.0	NNE	450
						(0.3)	(0.5)	(0.5)														
92	〃	17.00	〃	1.45	1.60	1.61	1.69	1.84	18.0	13.4	13.9	13.4	13.7	13.3	20.2	12.4	12.3	12.1	11.1	10.5	WNW	150
						(1.6)	(1.6)	(1.8)														
93	〃	18.00	〃	1.51	1.47	1.70	1.70	1.86	18.2	12.5	12.2	11.9	11.6	11.4	20.5	11.8	11.4	11.0	10.3	10.6	NW	150
						(1.7)	(1.8)	(1.8)														
94	〃	19.00	〃	1.55	1.52	1.68	1.80	1.92	18.1	10.8	10.8	10.8	10.2	10.0	20.3	11.1	10.8	10.5	10.1	9.7	NNW	160
						(1.6)	(1.9)	(1.9)														
95	〃	20.00	〃	1.58	1.77	1.85	1.94	2.08	18.6	9.7	9.6	9.5	8.8	8.5	21.0	10.7	10.5	10.3	9.6	9.2	W	170
						(1.8)	(2.0)	(2.0)														
96	〃	21.00	〃	1.60	1.65	1.85	1.87	2.02	18.5	8.0	7.8	7.6	7.2	7.0	20.9	9.7	9.5	9.2	9.1	8.7	NW	150
						(1.8)	(1.9)	(1.9)														
97	〃	22.00	〃	1.65	1.69	1.80	1.95	2.09	18.5	7.3	6.9	6.6	6.5	6.7	20.9	9.7	9.0	8.8	8.8	8.6	NW	150
						(1.8)	(1.9)	(2.0)														
98	〃	23.00	〃	1.49	1.69	1.66	1.85	1.95	18.4	8.4	8.0	7.6	6.8	6.6	20.7	10.4	10.0	9.6	9.1	8.5	NNW	160
						(1.6)	(1.8)	(2.0)														
99	〃	19 00.00	〃	2.13	2.32	2.40	2.58	2.73	18.5	8.0	7.9	7.3	6.7	6.2	20.9	10.2	10.1	9.4	8.6	8.4	NW	150
						(2.4)	(2.5)	(2.7)														
100	〃	01.00	〃	1.58	1.77	1.84	2.07	2.14	18.5	8.5	8.2	8.0	7.0	7.2	20.9	10.4	10.2	9.6	8.9	8.9	NNW	160
						(1.8)	(2.0)	(2.1)														
101	〃	02.00	〃	1.53	1.60	1.62	1.81	1.95	17.9	8.5	8.5	8.2	7.5	7.3	20.1	9.4	9.8	9.9	9.3	9.1	NW	150
						(1.6)	(1.8)	(1.9)														
102	〃	04.00	〃	1.61	1.70	1.84	1.97	2.08	18.4	9.4	9.2	8.8	8.2	7.9	20.7	10.8	10.8	10.2	9.8	9.1	NNW	160
						(1.8)	(1.9)	(2.1)														

Observed data of wind, temperature, and vapour pressure (Continued)

No.	Date	Time	St.	Wind speed (m/sec)					Temperature (°C)						Vapour pressure (mb)						Wind dir.	Fetch (m)
				u_{25}	u_{50}	u_{100}	u_{200}	u_{400}	T_0	T_{25}	T_{50}	T_{100}	T_{200}	T_{400}	e_0	e_{25}	e_{50}	e_{100}	e_{200}	e_{400}		
	1954	h m																			
103	Dec. 19	05.00	7	1.54	1.64	1.73 (1.8)	1.87 (1.9)	1.98 (1.9)	18.6	9.2	9.2	8.9	8.2	7.9	21.0	10.8	10.6	10.0	9.8	9.1	NNW	160
104	〃	〃 06.00	〃	1.71	1.90	1.98 (2.0)	2.13 (2.1)	2.26 (2.2)	18.5	9.4	9.1	8.5	7.9	7.5	20.9	10.6	10.4	10.1	9.7	9.1	NNW	160
105	〃	〃 07.00	〃	1.59	1.67	1.80 (1.8)	1.88 (1.8)	2.07 (2.0)	18.4	9.8	8.9	8.7	7.9	7.5	20.7	10.9	10.3	10.1	9.3	9.0	WNW	150
106	〃	〃 08.00	〃	1.67	1.90	2.03 (2.0)	2.16 (2.1)	2.30 (2.3)	18.4	10.4	9.5	9.5	8.6	8.3	20.7	10.7	10.3	10.3	9.5	9.4	NNW	160
107	〃	〃 09.00	〃	0.84	0.91	0.96 (0.9)	1.02 (1.0)	1.15 (1.1)	18.6	12.9	12.6	12.8	12.8	13.3	21.0	12.8	12.5	11.8	11.3	11.1	SW	400
108	〃	〃 10.00	〃	2.41	2.60	2.75 (2.7)	2.94 (2.9)	3.12 (3.1)	18.8	15.3	15.7	14.7	15.0	14.2	21.3	14.4	13.8	13.2	13.0	12.5	NE	22,700
109	〃	〃 11.00	〃	1.07	1.12	1.15 (1.2)	1.40 (1.3)	1.48 (1.4)	18.4	16.8	16.6	16.4	15.8	15.2	20.7	13.8	13.6	13.2	13.3	11.9	NE	22,700
110	〃	〃 12.00	〃	1.90	2.15	2.47 (2.4)	2.60 (2.7)	2.96 (2.9)	18.7	17.3	17.3	17.0	16.6	16.6	21.1	10.6	9.7	9.7	9.2	8.4	WNW	150
111	〃	〃 13.00	〃	2.05	2.42	2.78 (2.7)	3.12 (3.4)	3.62 (3.6)	19.0	17.6	17.4	17.4	17.3	16.7	21.5	11.9	11.4	11.2	11.1	10.5	W	170
112	〃	〃 14.00	〃	2.98	3.33	3.64 (3.6)	3.87 (4.0)	4.26 (4.3)	18.5	17.1	16.9	17.2	16.3	16.5	20.9	12.4	11.5	10.5	10.3	10.0	WNW	150
113	〃	〃 15.00	〃	2.47	2.88	3.48 (3.5)	4.04 (4.0)	4.50 (4.5)	18.9	15.9	16.2	16.1	16.3	16.3	21.4	13.7	12.8	12.6	12.3	12.4	W	170
114	〃	〃 16.00	〃	1.68	1.77	1.90 (1.9)	2.23 (2.2)	2.50 (2.5)	18.9	16.2	16.1	16.0	16.5	16.3	21.4	14.2	13.9	12.6	11.5	10.5	W	170
115	〃	〃 17.00	〃	2.48	2.59	2.83 (2.8)	3.19 (3.2)	3.63 (3.6)	18.7	14.6	14.7	15.3	14.9	14.6	21.1	12.8	13.2	12.4	12.7	12.4	W	170
116	〃	〃 18.00	〃	1.16	1.29	1.38 (1.3)	1.47 (1.4)	1.80 (1.7)	18.5	13.9	13.6	13.4	13.6	13.2	20.9	13.2	12.5	12.0	12.0	11.8	NW	150
117	〃	〃 19.00	〃	0.77	0.83	0.82 (0.6)	0.75 (0.6)	0.93 (0.8)	18.6	12.5	12.2	12.4	12.1	11.9	21.0	13.2	12.2	12.0	11.9	11.3	NW	150
118	〃	〃 20.00	〃	0.85	0.95	0.98 (1.0)	1.07 (1.1)	1.14 (1.1)	18.6	12.1	12.0	11.7	11.6	11.4	21.0	12.2	12.0	11.4	11.5	11.6	W	170
119	〃	〃 21.00	〃	0.91	1.02	1.09 (1.0)	0.98 (1.0)	1.17 (1.1)	18.6	11.8	11.6	11.6	11.4	11.3	21.0	12.6	12.1	12.3	11.9	11.7	NW	150
120	〃	〃 22.00	〃	0.97	1.05	1.04 (1.1)	1.16 (1.1)	1.35 (1.3)	18.6	12.4	11.4	11.9	11.2	11.0	21.0	13.4	12.2	11.4	11.5	11.2	NW	150
121	〃	〃 23.00	〃	1.25	1.33	1.39 (1.4)	1.45 (1.5)	1.70 (1.7)	18.5	10.7	10.6	9.8	9.4	9.4	20.9	12.0	11.9	11.2	10.9	10.8	NW	150
122	〃	20 00.00	〃	1.48	1.62	1.70 (1.7)	1.72 (1.8)	1.75 (1.8)	18.6	9.5	9.3	9.2	9.0	8.8	21.0	10.9	11.0	10.8	10.5	10.2	NW	150
123	〃	〃 01.00	〃	1.23	1.25	1.30 (1.3)	1.49 (1.4)	1.56 (1.5)	18.4	11.1	9.8	9.6	9.2	8.8	20.7	11.2	10.8	10.6	10.2	9.9	NW	150

Observed data of wind, temperature, and vapour pressure (Continued)

No.	Date	Time	St.	Wind speed (m/sec)					Temperature (°C)						Vapour pressure (mb)						Wind dir.	Fetch (m)
				u_{25}	u_{50}	u_{100}	u_{200}	u_{400}	T_0	T_{25}	T_{50}	T_{100}	T_{200}	T_{400}	e_0	e_{25}	e_{50}	e_{100}	e_{200}	e_{400}		
	1954	h m																			
124	Dec. 20	02.00	7	1.06	1.25	1.23 (1.3)	1.30 (1.3)	1.51 (1.4)	18.6	10.8	9.2	8.8	8.8	8.4	21.0	11.4	10.6	10.2	9.9	9.9	NNW	160
125	〃	〃	03.00	〃	1.09	1.08	1.08 (1.0)	1.14 (1.1)	1.29 (1.2)	18.7	10.8	9.2	8.6	8.5	8.4	21.1	11.7	10.6	10.3	9.8	9.8	NNW	160
126	〃	〃	04.00	〃	0.87	0.97	0.98 (1.0)	1.05 (1.0)	1.15 (1.1)	18.9	10.6	9.6	9.6	9.4	8.6	21.4	12.0	11.4	11.1	10.5	9.8	NNW	160
127	〃	〃	05.00	〃	0.90	1.05	1.14 (1.1)	1.21 (1.2)	1.38 (1.3)	18.8	10.9	10.8	11.0	10.1	9.8	21.3	12.9	11.7	11.5	10.7	11.1	NW	150
128	〃	〃	06.00	〃	2.22	2.32	2.55 (2.5)	2.70 (2.7)	3.03 (3.0)	18.8	12.0	11.6	11.6	11.3	11.3	21.3	11.1	10.0	9.6	10.2	9.6	NW	150
129	〃	〃	07.00	〃	1.57	1.67	1.80 (1.7)	1.92 (1.9)	2.05 (2.0)	18.6	11.6	11.1	11.4	11.0	11.0	21.0	9.6	8.4	8.7	8.4	8.1	N	200
130	〃	〃	08.00	〃	0.99	1.12	1.11 (1.2)	1.23 (1.3)	1.35 (1.3)	18.7	11.4	11.3	11.3	11.1	11.0	21.1	9.3	8.6	8.6	8.6	8.4	N	200
131	〃	〃	09.00	〃	2.39	2.53	2.74 (2.7)	2.90 (2.9)	3.25 (3.2)	18.6	12.5	12.3	12.4	12.0	11.7	21.0	9.3	9.1	8.9	8.0	7.7	NW	150
132	〃	〃	10.00	〃	2.28	2.44	2.62 (2.7)	3.06 (3.1)	3.50 (3.4)	18.8	13.5	13.4	13.5	13.0	12.9	21.3	10.2	9.4	8.6	8.5	8.1	NW	150
133	〃	〃	11.00	〃	3.12	3.26	3.53 (3.5)	3.90 (3.9)	4.44 (4.4)	18.7	13.7	13.5	13.7	12.4	13.3	21.1	11.9	10.8	9.8	9.3	8.6	NNW	160
134	〃	〃	12.00	〃	3.55	3.88	4.68 (4.8)	5.30 (5.2)	6.22 (6.2)	18.8	13.6	13.5	13.4	13.4	13.1	21.3	8.2	8.2	8.1	9.2	8.6	NW	150
135	〃	〃	13.00	〃	3.87	4.16	4.82 (4.9)	5.50 (5.6)	6.47 (6.4)	18.8	14.3	14.1	13.9	13.5	13.1	21.3	12.7	11.3	9.9	10.2	10.2	WNW	150
136	〃	〃	14.00	〃	3.07	3.30	3.62 (3.6)	4.06 (4.0)	4.50 (4.5)	18.9	13.8	13.8	13.8	13.4	13.0	21.4	9.7	9.1	8.5	10.6	10.0	NNW	160
137	〃	〃	15.00	〃	2.46	2.65	2.90 (2.9)	3.44 (3.4)	3.98 (3.9)	18.7	13.2	13.1	13.2	12.9	12.8	21.1	10.4	10.0	9.7	9.9	8.9	NW	150
138	〃	〃	16.00	〃	3.30	3.60	3.83 (3.8)	4.30 (4.3)	4.72 (4.6)	18.7	12.3	12.3	12.3	12.4	12.2	21.1	10.3	10.1	10.0	10.4	9.8	NW	150
139	〃	〃	17.00	〃	1.52	1.60	1.71 (1.7)	1.83 (1.9)	2.01 (2.0)	18.6	11.4	11.2	11.0	10.9	10.9	21.0	11.6	11.2	10.7	10.5	9.9	NW	150
140	〃	〃	18.00	〃	1.97	1.88	2.14 (2.2)	2.30 (2.3)	2.39 (2.3)	18.6	10.8	10.5	10.2	10.0	9.9	21.0	9.5	9.5	9.4	9.0	9.0	N	200
141	〃	〃	19.00	〃	1.19	1.30	1.40 (1.4)	1.46 (1.5)	1.58 (1.5)	18.4	8.7	8.4	8.1	8.2	8.2	20.7	9.6	9.3	9.1	8.7	8.4	NNW	160
142	〃	〃	20.00	〃	1.60	1.78	1.90 (1.9)	2.04 (2.0)	2.16 (2.1)	18.5	8.1	8.0	7.9	7.9	8.0	20.9	9.3	8.5	7.8	7.8	7.5	NW	150
143	〃	〃	21.00	〃	1.53	1.70	1.77 (1.7)	1.83 (1.8)	2.04 (1.9)	18.3	9.8	9.5	9.2	8.9	9.0	20.6	9.8	9.4	9.1	8.6	7.9	NW	150
144	〃	〃	22.00	〃	1.03	1.08	1.24 (1.1)	1.23 (1.2)	1.35 (1.3)	18.3	8.9	8.4	8.4	8.6	8.6	20.6	11.0	9.6	8.9	8.1	8.1	W	170

Observed data of wind, temperature, and vapour pressure (Continued)

No.	Date	Time	St.	Wind speed (m/sec)					Temperature (°C)						Vapour pressure (mb)						Wind dir.	Fetch (m)
				u_{25}	u_{50}	u_{100}	u_{200}	u_{400}	T_0	T_{25}	T_{50}	T_{100}	T_{200}	T_{400}	e_0	e_{25}	e_{50}	e_{100}	e_{200}	e_{400}		
	1954	h m																			
145	Dec. 20	23.00	7	0.89	1.13	1.10	1.19	1.32	18.2	8.9	8.8	8.7	8.8	8.6	20.5	8.2	8.0	7.8	7.5	7.3	NNW	160
						(1.0)	(1.2)	(1.3)														
146	〃 21	00.00	〃	2.25	2.51	2.54	2.70	2.95	18.5	9.4	9.0	8.6	8.4	8.4	20.9	12.1	10.1	8.0	7.2	6.4	W	170
						(2.6)	(2.8)	(2.9)														
147	〃 〃	01.00	〃	2.65	2.88	3.09	3.22	3.40	18.4	8.6	8.4	8.5	8.0	7.9	20.7	9.2	8.0	6.6	6.6	6.3	NW	150
						(3.0)	(3.3)	(3.3)														
148	〃 〃	02.00	〃	1.46	1.53	1.65	1.77	1.85	18.4	8.2	8.0	7.9	7.6	7.4	20.7	8.5	8.0	7.5	7.2	7.2	W	170
						(1.5)	(1.8)	(1.7)														
149	〃 〃	03.00	〃	1.60	1.79	1.90	1.95	2.11	18.5	7.2	7.1	7.2	6.8	6.8	20.9	8.4	7.8	7.2	6.7	7.0	W	170
						(1.9)	(2.0)	(2.1)														
150	〃 〃	04.00	〃	1.56	1.71	1.85	1.86	2.06	18.2	6.6	6.4	6.2	5.8	5.7	20.5	8.8	8.4	8.0	7.7	7.6	W	170
						(1.8)	(1.9)	(2.0)														
151	〃 〃	05.00	〃	1.76	1.83	2.07	2.17	2.33	18.2	6.9	6.8	6.6	6.2	6.0	20.5	9.0	8.0	7.6	7.7	7.5	W	170
						(2.0)	(2.2)	(2.3)														
152	〃 〃	06.00	〃	2.06	2.28	2.00	2.55	2.67	18.2	6.3	6.2	5.7	5.5	5.4	20.5	8.4	7.8	7.5	7.4	7.3	W	170
						(2.4)	(2.5)	(2.6)														
153	〃 〃	07.00	〃	1.66	1.85	1.95	2.01	2.22	18.3	7.3	7.0	6.7	6.5	6.2	20.6	7.6	7.4	7.2	6.9	6.5	W	170
						(1.9)	(2.1)	(2.2)														
154	〃 〃	08.00	〃	1.76	1.88	1.95	2.13	2.20	18.3	8.4	8.2	8.0	7.3	7.2	20.6	7.7	7.6	7.7	7.2	6.7	WNW	150
						(2.0)	(2.1)	(2.2)														
155	〃 〃	09.00	〃	3.06	3.31	3.57	3.72	4.28	18.3	11.3	11.5	11.3	11.2	10.7	20.6	11.5	10.4	9.9	9.6	8.9	N	200
						(3.5)	(3.9)	(4.2)														
156	〃 〃	10.00	〃	2.48	2.57	2.75	3.03	3.38	18.4	12.2	12.1	12.4	12.0	11.6	20.7	10.5	9.1	8.9	8.3	8.0	N	200
						(2.7)	(3.0)	(3.3)														
157	〃 〃	11.00	〃	1.85	1.96	2.05	2.22	2.37	18.4	12.6	12.5	12.2	12.4	12.2	20.7	9.8	9.1	8.7	7.1	7.3	NE	22,700
						(2.1)	(2.2)	(2.3)														
158	〃 〃	12.00	〃	2.72	2.90	3.14	3.33	3.54	17.8	14.1	14.1	14.1	13.4	13.4	20.0	10.3	9.8	9.4	7.6	6.8	NE	22,700
						(3.1)	(3.3)	(3.5)														
159	〃 〃	13.00	〃	1.65	1.71	1.90	2.05	2.08	17.5	15.2	15.1	15.2	14.8	14.8	19.6	10.1	9.6	9.1	8.2	7.9	E	5,200
						(1.9)	(2.0)	(2.0)														
160	〃 〃	14.00	〃	0.57	0.66	0.71	0.70	0.73	17.5	15.0	15.0	14.9	15.3	15.2	19.6	9.0	8.6	8.1	8.1	7.6	SE	24,000
						(0.6)	(0.7)	(0.7)														
161	〃 〃	15.00	〃	1.65	1.77	1.88	2.18	2.36	17.8	15.5	15.2	15.5	15.1	15.3	20.0	11.0	10.4	10.1	9.4	8.6	S	500
						(1.8)	(2.1)	(2.3)														
162	〃 〃	16.00	〃	0.70	0.79	0.74	0.70	0.78	17.8	16.4	15.6	15.2	15.8	15.6	20.0	10.4	10.3	10.0	9.9	9.9	S	500
						(0.4)	(0.4)	(0.5)														
163	〃 〃	17.00	〃	1.50	1.62	1.74	1.93	2.05	18.4	13.8	14.0	13.6	13.8	13.6	20.7	10.9	10.8	9.8	9.6	9.6	WNW	150
						(1.8)	(1.9)	(2.0)														
164	〃 〃	18.00	〃	1.29	1.40	1.50	1.63	1.69	18.5	10.0	10.3	9.8	9.9	10.1	20.9	10.7	10.3	9.8	9.3	9.5	N	200
						(1.5)	(1.6)	(1.7)														
165	〃 〃	19.00	〃	2.16	2.25	2.47	2.64	2.96	18.4	8.8	8.9	8.8	8.6	8.1	20.7	10.3	9.6	9.2	9.1	8.9	NW	150
						(2.4)	(2.6)	(2.9)														

Observed data of wind, temperature, and vapour pressure (Continued)

No.	Date	Time	St.	Wind speed (m/sec)					Temperature (°C)						Vapour pressure (mb)						Wind dir.	Fetch (m)
				u_{25}	u_{50}	u_{100}	u_{200}	u_{400}	T_0	T_{25}	T_{50}	T_{100}	T_{200}	T_{400}	e_0	e_{25}	e_{50}	e_{100}	e_{200}	e_{400}		
	1954	h m																			
166	Dec. 21	20.00	7	2.01	2.11	2.30 (2.3)	2.47 (2.5)	2.75 (2.7)	18.2	7.5	7.4	7.4	7.1	6.6	20.5	9.4	8.9	8.8	8.6	8.4	WNW,	150
167	〃	〃 21.00	〃	2.18	2.41	2.56 (2.6)	2.75 (2.8)	2.86 (2.8)	18.3	6.6	6.3	6.1	6.0	5.8	20.6	8.7	8.4	8.4	8.0	7.9	N	200
168	〃	〃 22.00	〃	1.54	1.72	1.88 (1.8)	1.80 (1.9)	2.06 (2.0)	18.1	5.4	5.6	5.5	5.2	5.2	20.3	7.7	8.1	8.1	7.8	7.8	N	200
169	〃	〃 23.00	〃	3.80	3.97	4.25 (4.3)	4.63 (4.6)	5.00 (5.0)	17.8	5.5	5.4	5.2	5.4	4.9	20.0	8.4	8.2	7.6	7.6	7.3	NNW	160
170	〃	22 00.00	〃	1.93	2.20	2.34 (2.3)	2.60 (2.6)	2.95 (3.0)	17.7	4.1	4.2	4.1	3.8	3.8	19.8	7.7	7.5	7.2	6.9	6.8	NNW	160
171	〃	〃 01.00	〃	2.23	2.50	2.72 (2.8)	2.95 (2.9)	3.02 (3.0)	18.0	4.9	4.6	4.5	4.2	3.9	20.2	8.0	7.5	7.3	7.0	6.8	NNW	160
172	〃	〃 02.00	〃	2.78	3.05	3.12 (3.2)	3.25 (3.4)	3.57 (3.5)	17.8	3.9	3.6	3.2	3.3	2.9	20.0	7.2	7.1	7.2	6.9	6.6	NNW	160
173	〃	〃 03.00	〃	2.61	2.88	3.09 (3.1)	3.35 (3.4)	3.78 (3.8)	17.9	3.8	3.6	3.3	3.3	3.3	20.1	6.9	6.9	6.7	6.9	6.9	NNW	160
174	〃	〃 04.00	〃	2.05	2.26	2.37 (2.4)	2.60 (2.5)	2.62 (2.6)	18.0	4.5	3.9	3.7	3.5	3.3	20.2	7.9	7.5	7.2	7.0	6.5	NNW	160
175	〃	〃 05.00	〃	2.16	2.18	2.39 (2.3)	2.50 (2.5)	2.65 (2.7)	18.0	4.3	3.8	3.5	3.2	3.1	20.2	7.9	7.5	7.4	7.2	7.0	NW	150
176	〃	〃 06.00	〃	2.61	3.02	3.20 (3.1)	3.55 (3.7)	4.03 (4.0)	18.2	4.4	4.3	3.9	3.5	3.1	20.5	8.0	7.8	7.3	7.2	7.0	NNW	160
177	〃	〃 07.00	〃	2.20	2.33	2.47 (2.5)	2.71 (2.8)	3.25 (3.2)	17.8	10.6	9.6	8.6	8.2	8.1	20.0	11.7	11.2	10.7	10.3	10.1	WNW	150
178	〃	〃 08.00	〃	1.84	1.98	2.10 (2.1)	2.29 (2.2)	2.52 (2.5)	18.2	9.9	9.8	9.7	9.7	9.6	20.5	11.8	11.7	11.6	11.1	10.8	NW	150
179	〃	〃 09.00	〃	1.56	1.67	1.82 (1.8)	2.04 (2.1)	2.33 (2.3)	18.1	10.3	9.9	9.5	9.4	9.2	20.3	10.6	10.1	10.1	10.1	10.1	NW	150
180	〃	〃 10.00	〃	1.51	1.83	1.95 (1.9)	2.17 (2.2)	2.41 (2.4)	18.2	14.5	14.3	14.0	13.4	13.1	20.5	13.0	12.6	12.7	11.8	11.7	NNW	160
181	〃	〃 11.00	〃	1.72	1.94	1.92 (2.0)	2.14 (2.1)	2.13 (2.1)	18.7	15.2	15.0	14.5	14.7	15.0	21.1	14.3	14.0	13.0	12.8	13.8	E	5,200
182	〃	〃 12.00	〃	1.68	1.87	1.98 (1.9)	2.20 (2.1)	2.26 (2.3)	18.8	15.1	15.2	14.9	15.1	14.8	21.3	15.1	14.5	13.2	12.2	12.8	E	5,200
183	〃	〃 13.00	〃	1.16	1.35	1.67 (1.6)	1.89 (1.9)	2.13 (2.1)	19.0	18.0	17.8	18.0	17.2	17.5	21.5	12.0	11.4	10.8	9.7	9.8	NNW	160
184	〃	〃 14.00	〃	2.28	2.60	3.14 (3.2)	3.53 (3.5)	4.02 (3.9)	18.8	17.9	18.0	17.9	17.4	17.4	21.3	12.7	12.4	12.7	12.2	11.8	W	170
185	〃	〃 15.00	〃	1.88	2.16	2.58 (2.5)	2.95 (2.9)	3.37 (3.3)	18.8	16.5	16.3	16.1	15.7	15.7	21.3	13.6	13.4	13.4	13.0	11.8	WNW	150
186	1955 April26	09.00	8	2.08	2.18	2.30 (2.3)	2.58 (2.5)	2.87 (2.9)	18.1	17.3	17.2	17.0	17.1	16.5	20.3	11.9	11.8	11.6	11.2	11.8	W	3,100

Observed data of wind, temperature, and vapour pressure (Continued)

No.	Date	Time	St.	Wind speed (m/sec)					Temperature (°C)						Vapour pressure (mb)						Wind dir.	Fetch (m)
				u_{25}	u_{50}	u_{100}	u_{200}	u_{400}	T_0	T_{25}	T_{50}	T_{100}	T_{200}	T_{400}	e_0	e_{25}	e_{50}	e_{100}	e_{200}	e_{400}		
	1955	h m																			
187	April 26	10.00	8	2.45	2.55	2.81	3.17	3.54	18.3	18.2	18.3	18.0	17.9	17.8	20.6	11.9	11.7	11.9	11.3	11.4	W	3, 100
						(2.9)	(3.1)	(3.5)														
188	〃	11.00	〃	3.58	3.91	4.20	4.74	5.35	18.2	18.2	18.5	18.2	17.7	18.2	20.5	14.7	14.5	13.8	13.1	11.6	W	3, 100
						(4.2)	(4.6)	(5.4)														
189	〃	12.00	〃	1.65	1.82	1.97	2.10	2.38	18.2	18.8	19.5	18.8	18.6	18.9	20.5	12.2	11.6	12.0	11.5	11.6	W	3, 100
						(2.0)	(2.0)	(2.3)														
190	〃	13.00	〃	2.40	2.55	2.72	3.13	3.42	18.1	19.5	19.5	19.8	19.7	19.5	20.3	13.3	12.3	12.2	10.8	11.7	W	3, 100
						(2.8)	(3.1)	(3.4)														
191	〃	14.00	〃	2.10	2.38	2.44	2.60	2.90	18.2	19.4	19.5	20.2	19.4	19.4	20.5	13.9	14.4	13.5	13.2	12.7	S W	10, 500
						(2.4)	(2.5)	(2.9)														
192	〃	15.00	〃	1.46	1.57	1.69	1.78	1.89	18.0	19.8	20.0	20.2	19.9	19.9	20.2	14.0	14.4	13.1	12.5	12.3	S W	10, 500
						(1.6)	(1.7)	(1.9)														
193	〃	16.00	〃	2.27	2.33	2.58	2.97	3.29	18.1	20.3	20.4	20.4	20.0	20.2	20.3	16.6	16.1	15.9	14.9	14.1	W	3, 100
						(2.5)	(2.9)	(3.2)														
194	〃	17.00	〃	2.80	2.96	3.10	3.38	3.67	18.1	19.0	19.0	19.0	19.6	20.0	20.3	17.4	17.3	17.4	17.6	17.3	S W	10, 500
						(3.1)	(3.3)	(3.6)														
195	〃	18.00	〃	2.40	2.53	2.78	2.97	3.11	17.7	18.0	18.2	18.0	19.3	19.3	19.8	17.6	17.2	16.6	16.7	16.3	S S W	17, 000
						(2.7)	(2.9)	(3.1)														
196	〃	19.00	〃	3.00	3.15	3.43	3.54	3.75	17.8	18.3	18.5	18.7	18.7	18.8	20.0	16.4	16.3	16.2	16.0	16.1	S S W	17, 000
						(3.3)	(3.5)	(3.8)														
197	〃	20.00	〃	2.78	2.89	3.04	3.20	3.40	17.9	—	18.1	18.1	18.1	18.1	20.1	—	17.3	16.0	14.8	14.8	N N W	5, 000
						(3.0)	(3.2)	(3.4)														
198	〃	21.00	〃	0.98	0.91	1.12	1.17	1.38	17.8	18.0	18.0	18.0	18.1	18.2	20.0	16.4	16.1	15.7	15.7	14.9	N	2, 100
						(1.0)	(1.1)	(1.4)														
199	〃	22.00	〃	2.96	3.15	3.39	3.83	4.24	17.3	—	17.2	17.4	17.4	17.4	19.3	—	18.9	18.2	17.0	14.7	E	2, 700
						(3.3)	(3.8)	(4.3)														
200	〃	23.00	〃	2.20	2.28	2.55	2.63	2.93	17.6	17.1	17.0	16.9	16.9	16.9	19.7	15.6	15.5	15.4	15.2	15.4	N E	2, 000
						(2.5)	(2.6)	(2.9)														
201	〃	27 00.00	〃	2.28	2.57	2.57	2.75	3.11	17.2	17.0	16.9	16.9	16.8	16.8	19.2	14.7	14.7	14.7	15.1	14.6	N E	2, 000
						(2.7)	(2.8)	(3.0)														
202	〃	01.00	〃	1.96	2.15	2.14	2.37	2.68	17.9	17.2	17.2	17.0	17.0	16.7	20.1	15.9	15.9	15.3	15.0	15.2	N E	2, 000
						(2.2)	(2.3)	(2.7)														
203	〃	02.00	〃	3.00	3.21	3.34	3.78	4.23	17.8	17.0	16.8	16.6	16.6	16.7	20.0	15.7	15.5	15.3	15.3	15.0	N E	2, 000
						(3.4)	(3.7)	(4.1)														
204	〃	03.00	〃	2.75	2.93	3.06	3.36	3.67	17.9	16.9	16.8	16.7	16.7	16.6	20.1	14.2	14.1	14.2	14.5	14.4	N N E	1, 700
						(3.0)	(3.4)	(3.6)														
205	〃	04.00	〃	1.87	1.95	2.11	2.26	2.64	17.8	—	16.6	16.5	16.4	16.3	20.0	—	15.2	15.2	15.2	14.8	N E	2, 000
						(2.1)	(2.2)	(2.5)														
206	〃	05.00	〃	1.95	2.17	2.29	2.45	2.63	17.8	16.7	16.6	16.5	16.3	16.3	20.0	17.0	16.1	15.3	15.5	15.8	N	2, 100
						(2.2)	(2.4)	(2.5)														
207	〃	06.00	〃	2.88	3.03	3.25	3.40	3.81	17.9	16.8	16.7	16.6	16.5	16.3	20.1	16.5	15.9	15.3	15.2	15.3	N	2, 100
						(3.2)	(3.4)	(3.8)														

Observed data of wind, temperature, and vapour pressure (Continued)

No.	Date	Time	St.	Wind speed (m/sec)					Temperature (°C)						Vapour pressure (mb)						Wind dir.	Fetch (m)
				u_{25}	u_{50}	u_{100}	u_{200}	u_{400}	T_0	T_{25}	T_{50}	T_{100}	T_{200}	T_{400}	e_0	e_{25}	e_{50}	e_{100}	e_{200}	e_{400}		
	1955	h m																			
208	April 27	07.00	8	3.22	3.45	3.56 (3.6)	3.82 (3.8)	4.35 (4.2)	18.0	17.2	17.2	17.2	16.8	16.8	20.2	16.5	16.5	16.5	16.4	15.1	N	2,100
209	〃	〃	08.00	〃	3.10	3.31	3.53 (3.4)	3.92 (3.8)	4.33 (4.3)	18.1	17.9	17.8	17.9	17.5	17.4	20.3	15.8	15.7	15.8	15.3	15.1	N	2,100
210	〃	〃	09.00	〃	2.82	3.00	3.25 (3.2)	3.77 (3.7)	4.39 (4.3)	18.3	18.2	18.4	18.6	18.6	18.6	20.6	16.3	16.2	16.1	16.2	16.8	NE	2,000
211	〃	28	21.00	9	2.35	2.51	2.67 (2.7)	2.88 (2.8)	3.24 (3.2)	19.0	19.8	19.9	19.9	19.8	19.8	21.5	19.6	19.8	19.2	19.6	19.0	S	10,600
212	〃	〃	22.00	〃	1.19	1.28	1.40 (1.4)	1.49 (1.4)	1.66 (1.6)	19.2	19.6	19.6	19.6	19.5	19.5	21.8	19.0	19.0	19.2	19.4	19.0	SSW	5,300
213	〃	〃	23.00	〃	1.75	1.93	1.93 (2.0)	2.10 (2.1)	2.36 (2.4)	19.2	19.1	19.3	19.2	19.2	19.2	21.8	20.1	19.4	19.0	19.0	18.9	NNW	4,300
214	〃	29	00.00	〃	0.55	0.51	0.60 (0.4)	0.66 (0.6)	0.72 (0.6)	18.9	18.6	18.6	18.8	18.8	18.8	21.4	19.6	19.6	19.1	19.1	19.1	NW	3,000
215	〃	〃	01.00	〃	1.68	1.80	1.92 (2.0)	2.06 (2.1)	2.24 (2.2)	19.3	18.9	18.9	18.7	18.6	18.6	21.9	19.4	19.4	19.2	19.1	19.1	NW	3,000
216	〃	〃	02.00	〃	1.58	1.76	1.97 (1.9)	1.98 (1.9)	2.09 (2.1)	19.4	18.1	17.7	17.6	17.8	17.8	22.1	19.0	18.5	18.6	18.5	18.6	SW	3,500
217	〃	〃	03.00	〃	1.33	1.43	1.62 (1.5)	1.65 (1.6)	1.78 (1.9)	19.3	17.9	17.8	17.6	17.8	17.8	21.9	19.0	18.6	19.0	18.6	18.3	SW	3,500
218	〃	〃	04.00	〃	1.80	1.85	1.85 (1.9)	1.94 (1.9)	2.09 (2.1)	19.8	18.3	18.0	17.9	17.8	17.8	22.6	19.1	18.9	18.6	18.6	18.5	NNW	4,300
219	〃	〃	05.00	〃	1.18	1.31	1.34 (1.4)	1.65 (1.5)	1.64 (1.6)	19.8	18.2	18.2	18.2	18.1	18.0	22.6	19.3	18.9	18.9	18.8	18.5	WNW	2,800
220	〃	〃	06.00	〃	0.80	0.86	0.93 (0.9)	0.97 (1.0)	1.05 (1.0)	19.0	18.0	18.1	18.0	17.9	17.9	21.5	19.1	18.6	18.5	18.4	18.4	N	6,000
221	〃	〃	07.00	〃	1.16	1.28	1.33 (1.3)	1.37 (1.4)	1.50 (1.5)	19.1	18.2	18.2	18.1	18.0	18.1	21.7	19.1	18.9	19.0	18.7	18.6	N	6,000
222	〃	〃	08.00	〃	1.02	1.13	1.16 (1.2)	1.30 (1.3)	1.33 (1.3)	19.2	19.0	18.8	18.6	18.1	18.2	21.8	20.0	19.9	19.6	19.0	19.1	NW	3,000
223	〃	〃	09.00	〃	0.68	0.73	0.80 (0.7)	0.77 (0.8)	0.85 (0.8)	18.8	18.2	18.0	17.9	17.8	18.2	21.3	20.1	19.9	19.3	19.6	19.1	N	6,000
224	〃	〃	10.00	〃	1.68	1.86	1.97 (2.0)	2.06 (2.1)	2.22 (2.2)	18.9	18.5	18.5	18.3	18.1	18.1	21.4	19.9	19.7	19.3	19.4	19.6	NE	11,000
225	〃	〃	11.00	〃	0.67	0.73	0.80 (0.7)	0.76 (0.7)	0.88 (0.9)	18.9	18.6	18.6	18.8	18.4	18.3	21.4	20.0	20.0	19.7	19.2	19.3	NE	11,000
226	〃	〃	21.00	〃	1.95	2.14	2.27 (2.3)	2.36 (2.4)	2.58 (2.5)	18.9	18.5	18.6	18.3	18.3	18.2	21.4	20.7	20.4	19.8	19.5	19.5	N	6,000
227	〃	〃	22.00	〃	1.18	1.26	1.37 (1.4)	1.51 (1.5)	1.56 (1.6)	18.8	18.0	17.6	17.5	17.2	17.4	21.3	18.7	19.0	18.7	18.7	18.3	NW	3,000
228	〃	〃	23.00	〃	5.48	5.85	6.22 (6.2)	6.58 (6.5)	6.99 (6.9)	18.9	18.6	18.4	18.4	18.3	18.3	21.4	19.8	20.0	19.4	19.5	19.3	SE	33,000

Observed data of wind, temperature, and vapour pressure (Continued)

No.	Date	Time	St.	Wind speed (m/sec)					Temperature (°C)						Vapour pressure (mb)						Wind dir.	Fetch (m)
				u_{25}	u_{50}	u_{100}	u_{200}	u_{400}	T_0	T_{25}	T_{50}	T_{100}	T_{200}	T_{400}	e_0	e_{25}	e_{50}	e_{100}	e_{200}	e_{400}		
	1955	h m																			
229	May 1	15.00	9	1.55	1.64	1.82 (1.8)	1.93 (1.8)	2.15 (2.1)	20.8	20.8	20.5	21.0	21.1	21.2	24.1	20.4	20.0	20.4	20.2	20.5	S W	3,500
230	〃 〃	16.00	〃	1.45	1.55	1.63 (1.6)	1.75 (1.7)	1.99 (1.9)	20.7	21.0	21.1	21.2	21.6	21.4	23.9	21.4	20.6	20.7	20.0	19.4	S W	3,500
231	〃 〃	17.00	〃	3.25	3.48	3.75 (3.7)	4.20 (4.2)	4.73 (4.6)	20.9	21.0	21.4	21.0	21.4	21.5	24.2	21.5	21.0	20.4	20.6	20.1	S W	3,500
232	〃 〃	18.00	〃	4.48	4.82	5.16 (5.1)	5.41 (5.4)	6.00 (5.9)	20.7	21.2	21.2	21.2	21.4	21.6	23.9	20.7	20.5	20.7	20.2	20.0	S	10,600
233	〃 〃	19.00	〃	3.89	4.16	4.47 (4.4)	4.75 (4.8)	5.19 (5.3)	20.6	—	20.4	20.6	20.4	20.4	23.8	—	21.4	20.3	19.2	19.8	S S W	5,300
234	〃 〃	20.00	〃	5.60	6.05	6.50 (6.4)	6.88 (6.8)	7.24 (7.3)	20.4	—	20.4	20.3	20.4	20.2	23.5	—	20.6	20.5	20.4	20.6	S S E	25,000
235	〃 〃	21.00	〃	3.55	3.84	4.07 (4.1)	4.26 (4.3)	4.67 (4.6)	19.8	—	20.3	20.3	20.3	20.4	22.6	—	19.9	19.7	19.9	19.2	S S E	25,000
236	〃 〃	22.00	〃	3.05	3.27	3.51 (3.4)	3.88 (3.9)	4.35 (4.3)	19.6	—	19.5	19.8	20.1	20.2	22.3	—	19.4	19.6	19.6	19.9	E	13,400
237	〃 〃	23.00	〃	1.63	1.80	1.90 (1.9)	2.06 (2.0)	2.17 (2.1)	19.6	—	19.9	19.9	19.9	19.9	22.3	—	18.6	18.6	18.6	18.8	S	10,600
238	〃 2	00.00	〃	3.22	3.44	3.63 (3.6)	3.87 (3.8)	4.21 (4.2)	19.6	—	19.8	19.8	19.8	19.8	22.3	—	20.0	19.6	19.2	19.4	S	10,600
239	〃 〃	01.00	〃	0.81	0.83	0.94 (0.8)	1.04 (1.0)	1.05 (1.0)	19.6	—	19.4	19.6	19.8	19.8	22.3	—	19.7	19.0	18.3	18.1	N	6,000
240	〃 〃	02.00	〃	1.45	1.57	1.68 (1.6)	1.80 (1.8)	1.97 (1.9)	19.5	—	19.6	19.9	19.6	19.4	22.2	—	17.8	17.6	17.4	18.1	N	6,000
241	〃 〃	03.00	〃	0.98	1.10	1.15 (1.1)	1.27 (1.3)	1.33 (1.3)	19.0	—	19.9	19.9	19.9	20.0	21.5	—	16.9	16.7	16.5	15.9	S E	33,000
242	〃 〃	04.00	〃	0.96	1.03	1.12 (1.0)	1.25 (1.2)	1.23 (1.2)	19.4	—	19.7	19.7	19.7	19.8	22.1	—	18.1	17.9	17.8	17.3	E	13,400
243	〃 〃	06.00	〃	2.53	2.67	2.88 (2.9)	3.06 (3.0)	3.40 (3.4)	19.3	—	20.1	20.3	20.1	20.4	21.9	—	17.6	17.5	17.5	17.5	N E	11,000
244	〃 〃	07.00	〃	2.62	2.87	3.04 (3.0)	3.22 (3.2)	3.44 (3.4)	19.4	—	20.2	20.3	20.4	20.6	22.1	—	16.7	16.6	16.7	16.6	S S E	25,000
245	〃 〃	08.00	〃	2.46	2.65	2.87 (2.8)	3.28 (3.2)	3.66 (3.6)	19.6	—	19.9	20.0	20.1	20.4	22.3	—	17.8	17.5	17.3	16.7	W	2,600
246	〃 8	15.00	10	—	—	0.22	—	0.30	19.3	—	19.8	19.9	19.8	19.9	21.9	—	22.7	22.0	21.2	21.0	calm	—
247	〃 〃	21.00	〃	—	—	1.03	—	1.21	19.1	—	18.8	19.0	19.2	19.2	21.7	—	21.5	21.4	21.2	20.8	S E	24,000
248	〃 9	03.00	〃	—	—	0.45	—	0.60	18.8	—	18.4	18.5	18.6	18.6	21.3	—	20.4	20.3	20.2	19.6	S	650
249	〃 〃	09.00	〃	—	—	2.76	—	3.12	19.2	—	19.6	20.3	19.6	19.5	21.8	—	21.2	20.9	21.2	21.4	N E	23,000

Observed data of wind, temperature, and vapour pressure (Continued)

No.	Date	Time	St.	Wind speed (m/sec)					Temperature (°C)						Vapour pressure (mb)						Wind dir.	Fetch (m)
				u_{25}	u_{50}	u_{100}	u_{200}	u_{400}	T_0	T_{25}	T_{50}	T_{100}	T_{200}	T_{400}	e_0	e_{25}	e_{50}	e_{100}	e_{200}	e_{400}		
	1955	h m																			
250	May 9	15.00	10	—	—	2.98	—	3.72	21.2	—	22.8	22.9	22.8	22.9	24.7	—	24.2	23.4	22.6	22.3	E	5,200
251	〃 〃	21.00	〃	—	—	1.07	—	1.41	20.2	—	20.1	20.3	20.5	20.5	23.2	—	21.8	21.7	21.6	21.2	NW	430
252	〃 10	03.00	〃	—	—	0.35	—	0.30	18.9	—	18.4	18.3	18.4	18.4	21.4	—	19.9	19.8	19.8	19.2	calm	—
253	〃 〃	09.00	〃	—	—	1.58	—	1.80	19.7	—	21.0	21.7	21.0	20.9	22.5	—	19.8	19.6	19.8	20.1	NE	23,000
254	〃 〃	15.00	〃	—	—	0.75	—	0.90	20.2	—	22.8	22.9	22.8	22.9	23.2	—	22.2	21.4	20.7	20.4	S	650
255	Aug. 5	15.00	〃	—	—	4.33	—	5.65	29.0	—	31.0	31.1	31.0	31.1	39.3	—	31.8	31.8	30.8	31.8	N	700
256	〃 〃	18.00	〃	—	—	3.52	—	4.65	27.9	—	26.8	26.6	26.8	26.9	36.8	—	30.2	29.8	29.5	29.1	NW	430
257	〃 〃	21.00	〃	—	—	2.46	—	3.05	28.0	—	26.6	26.4	26.6	26.6	37.0	—	30.6	30.5	30.3	29.8	N	700
258	〃 6	00.00	〃	—	—	1.25	—	1.39	27.5	—	25.5	25.4	25.3	25.3	36.0	—	31.1	29.9	28.7	30.2	NE	23,000
259	〃 〃	03.00	〃	—	—	1.88	—	2.42	27.0	—	24.4	24.3	24.4	24.4	34.9	—	28.7	28.7	28.6	27.9	N	700
260	〃 〃	06.00	〃	—	—	1.63	—	2.03	27.2	—	24.3	24.1	23.9	24.0	35.4	—	27.7	27.6	27.7	27.7	NW	430
261	〃 〃	09.00	〃	—	—	1.07	—	1.23	27.6	—	28.7	29.4	28.7	28.6	36.2	—	29.3	28.0	26.7	27.0	NE	23,000
262	〃 〃	12.00	〃	—	—	0.80	—	0.91	27.2	—	29.1	29.8	29.1	28.9	35.4	—	29.5	29.0	28.4	28.6	NE	23,000
263	〃 〃	15.00	〃	—	—	4.04	—	5.05	29.7	—	31.0	31.1	31.0	31.1	40.9	—	33.4	32.4	31.3	31.0	E	5,200
264	〃 〃	18.00	〃	—	—	1.75	—	2.30	28.1	—	28.1	28.3	28.5	28.6	37.3	—	30.4	30.0	29.6	29.3	S	650
265	〃 〃	21.00	〃	—	—	3.35	—	4.35	27.2	—	25.9	25.7	25.9	25.9	35.4	—	30.6	30.4	30.3	29.8	NW	430
266	〃 7	00.00	〃	—	—	1.05	—	1.32	26.7	—	26.0	25.9	25.8	25.8	34.3	—	28.1	28.1	28.1	28.4	NW	430
267	〃 〃	09.00	〃	—	—	1.93	—	2.52	27.5	—	28.3	29.0	28.3	28.2	36.0	—	28.0	27.7	28.0	28.3	N	700
268	〃 〃	12.00	〃	—	—	2.47	—	2.78	28.5	—	29.8	30.5	29.8	29.6	38.1	—	30.3	29.8	30.3	30.4	NE	23,000
269	〃 〃	15.00	〃	—	—	2.06	—	2.32	28.4	—	31.1	31.2	31.1	31.2	37.9	—	33.1	32.0	31.0	30.7	NE	23,000
270	Oct. 26	21.00	9	1.82	1.98	2.13 (2.1)	2.16 (2.2)	2.30 (2.3)	21.9	18.9	19.0	18.8	18.6	18.7	25.7	19.6	20.6	20.3	20.0	20.2	N	6,000

Observed data of wind, temperature, and vapour pressure (Continued)

No.	Date	Time	St.	Wind speed (m/sec)					Temperature (°C)						Vapour pressure (mb)						Wind dir.	Fetch (m)
				u_{25}	u_{50}	u_{100}	u_{200}	u_{400}	T_0	T_{25}	T_{50}	T_{100}	T_{200}	T_{400}	e_0	e_{25}	e_{50}	e_{100}	e_{200}	e_{400}		
	1955	h m																			
271	Oct. 26	22.00	9	2.37	2.59	2.80	2.93	3.10	22.1	18.5	18.8	19.2	18.3	18.5	26.1	20.5	19.9	20.0	20.0	19.9	N	6,000
						(2.7)	(2.9)	(3.1)														
272	〃 〃	23.00	〃	1.68	1.86	2.04	2.16	2.30	21.8	19.1	18.6	18.8	18.0	17.9	25.6	19.5	20.0	19.9	19.5	20.3	N	6,000
						(2.0)	(2.1)	(2.3)														
273	〃 27	00.00	〃	2.17	2.30	2.43	2.61	2.80	22.1	19.2	18.2	18.4	17.7	17.4	26.1	20.0	19.9	20.2	20.1	19.7	NNE	29,000
						(2.4)	(2.5)	(2.7)														
274	〃 〃	06.00	〃	1.82	1.89	1.96	2.22	2.28	22.1	19.7	20.0	19.6	19.1	18.7	26.1	20.7	20.7	—	—	—	N	6,000
						(2.0)	(2.2)	(2.2)														
275	〃 〃	07.00	〃	1.46	1.58	1.69	1.83	1.93	22.0	19.7	19.1	19.2	18.8	18.7	25.9	20.9	20.5	21.2	21.3	21.2	N	6,000
						(1.6)	(1.8)	(1.8)														
276	〃 〃	08.00	〃	1.72	1.82	1.92	2.06	2.18	21.9	19.5	19.4	18.9	19.1	18.8	25.7	20.8	21.1	20.8	20.7	20.5	NE	11,000
						(1.8)	(2.0)	(2.2)														
277	〃 〃	09.00	〃	0.47	0.49	0.50	0.55	0.52	21.2	20.6	21.2	20.2	20.2	20.1	24.7	23.2	22.8	22.4	22.2	22.3	W	2,600
						(0.3)	(0.3)	(0.2)														
278	〃 〃	10.00	〃	0.37	0.44	0.43	0.45	0.47	21.9	21.3	21.8	21.8	21.1	21.1	25.7	21.4	22.8	21.9	21.0	21.6	calm	—
						(0.3)	(0.4)	(0.4)														
279	〃 〃	11.00	〃	1.03	1.13	1.24	1.35	1.58	22.2	22.2	21.6	21.6	21.5	21.5	26.2	23.6	22.9	22.5	21.9	21.9	W	2,600
						(1.2)	(1.3)	(1.5)														
280	〃 〃	12.00	〃	—	—				23.0	23.0	21.9	21.9	21.8	21.9	27.5	23.5	22.3	22.3	21.7	21.9	W	2,600
						(1.0)	(1.2)	(1.3)														
281	〃 〃	13.00	〃	—	—				22.8	21.7	23.0	22.2	21.3	21.3	27.2	24.6	23.5	22.5	22.9	22.9	calm	—
						(0.4)	(0.0)	(0.4)														
282	〃 〃	14.00	〃	—	—				22.5	21.9	21.8	21.9	22.1	22.0	26.7	22.9	22.4	22.3	22.2	22.0	calm	—
						(0.0)	(0.0)	(0.3)														
283	〃 〃	15.00	〃	—	—				22.4	20.7	21.2	22.1	21.9	21.3	26.5	23.8	23.0	21.5	21.7	22.3	calm	—
						(0.0)	(0.0)	(0.2)														
284	〃 〃	16.00	〃	—	—				22.3	22.2	21.9	21.9	21.8	21.7	26.4	24.5	22.1	20.0	19.9	19.9	calm	—
						(0.0)	(0.0)	(0.3)														
285	〃 〃	17.00	〃	—	—				22.2	21.1	21.8	22.0	21.9	21.8	26.2	23.7	22.8	22.0	21.7	22.0	WSW	3,000
						(0.3)	(0.5)	(0.5)														
286	〃 〃	18.00	〃	—	—				21.8	21.8	21.5	21.9	21.7	21.7	25.6	23.1	22.2	21.5	20.1	20.0	W	2,600
						(1.2)	(1.2)	(1.5)														
287	〃 〃	19.00	〃	—	—				21.9	21.9	21.6	21.4	21.3	21.4	25.7	22.5	21.9	21.6	21.0	20.8	calm	-
						(0.0)	(0.0)	(0.0)														
288	〃 〃	20.00	〃	—	—				22.1	21.6	21.5	21.0	21.4	21.3	26.1	20.4	20.5	20.0	19.5	19.6	calm	—
						(0.0)	(0.0)	(0.0)														
289	〃 〃	21.00	〃	—	—				22.1	19.2	19.1	19.2	19.1	18.7	26.1	21.0	20.7	20.4	20.7	20.2	calm	-
						(0.0)	(0.0)	(0.3)														
290	〃 〃	22.00	〃	—	—				22.1	19.2	19.2	19.2	18.5	18.7	26.1	20.2	20.2	20.2	20.1	19.8	N	6,000
						(1.6)	(1.6)	(1.7)														
291	〃 〃	23.00	〃	—	—				22.1	18.6	18.2	18.3	18.0	17.7	26.1	20.2	19.9	19.5	19.1	18.7	N	6,000
						(0.6)	(0.4)	(0.6)														

Observed data of wind, temperature, and vapour pressure (Continued)

No.	Date	Time	St.	Wind speed (m/sec)					Temperature (°C)						Vapour pressure (mb)						Wind dir.	Fetch (m)
				u_{25}	u_{50}	u_{100}	u_{200}	u_{400}	T_0	T_{25}	T_{50}	T_{100}	T_{200}	T_{400}	e_0	e_{25}	e_{50}	e_{100}	e_{200}	e_{400}		
	1955	h m																				
292	Oct. 28	00.00	9	—	—	(1.3)	(1.4)	(1.6)	21.9	18.7	17.8	17.7	17.4	17.1	25.7	21.0	20.2	19.7	19.5	18.9	N	6,000
293	〃 〃	01.00	〃	—	—	(1.9)	(2.0)	(2.2)	21.8	18.7	18.6	18.2	17.7	18.1	25.6	20.6	19.4	19.3	19.3	18.6	NW	3,000
294	〃 〃	02.00	〃	—	—	(2.6)	(2.8)	(3.0)	21.7	18.6	18.5	18.3	18.1	18.0	25.4	20.0	19.1	18.9	18.4	18.1	NW	3,000
295	〃 〃	03.00	〃	—	—	(1.7)	(1.9)	(2.0)	21.8	18.3	17.8	17.4	16.7	17.0	25.6	20.0	19.0	18.9	18.4	17.9	NW	3,000
296	〃 〃	04.00	〃	—	—	(2.6)	(2.8)	(3.0)	21.8	18.3	18.3	17.7	17.3	17.4	25.6	20.0	20.0	20.1	19.4	18.7	NW	3,000
297	〃 〃	05.00	〃	—	—	(1.8)	(2.0)	(2.1)	21.8	18.4	18.2	18.0	17.9	17.9	25.6	20.0	19.7	19.3	19.5	19.3	NNE	29,000
298	〃 〃	06.00	〃	—	—	(0.8)	(0.8)	(0.8)	21.9	18.5	18.3	17.9	17.8	17.7	25.7	20.1	19.8	19.5	19.2	18.9	NE	11,000
299	〃 〃	07.00	〃	—	—	(0.0)	(0.0)	(0.3)	21.8	19.2	18.9	18.9	18.6	18.6	25.6	20.8	20.2	20.0	20.2	19.6	calm	—
300	〃 〃	08.00	〃	—	—	(0.7)	(0.8)	(0.8)	21.9	21.9	21.9	21.8	21.5	21.3	25.7	24.3	23.6	23.2	23.4	22.5	S E	33,000
301	〃 〃	09.00	〃	—	—	(1.4)	(1.5)	(1.7)	22.0	22.1	22.1	22.1	22.2	22.3	25.9	23.3	23.0	23.0	22.8	22.0	S E	33,000
302	〃 29	13.00	〃	4.96	5.52	6.08 (6.0)	6.82 (7.0)	7.45 (7.4)	22.1	—	—	—	—	20.8	26.1	—	—	—	—	—	N	6,000
303	〃 〃	15.00	〃	5.60	6.20	6.80 (6.7)	7.64 (7.6)	8.33 (8.5)	22.1	21.6	21.2	21.0	21.0	20.8	26.1	23.2	21.9	21.7	21.2	19.8	N	6,000
304	〃 〃	16.00	〃	4.40	4.67	5.03 (5.0)	5.68 (5.8)	6.50 (6.4)	22.1	22.1	22.1	21.6	21.9	21.9	26.1	22.5	20.3	18.2	19.4	17.8	NNW	4,300
305	〃 〃	17.00	〃	4.62	4.83	5.25 (5.2)	5.48 (5.5)	6.00 (6.1)	22.0	20.8	20.2	20.1	20.0	20.1	25.9	21.0	18.6	18.1	18.9	18.1	N	6,000
306	〃 〃	18.00	〃	5.31	5.67	6.03 (5.9)	6.31 (6.3)	6.85 (7.1)	21.8	19.5	19.3	18.6	19.0	17.8	25.6	21.0	19.0	18.1	18.6	17.3	N	6,000
307	〃 〃	19.00	〃	5.18	5.49	5.80 (5.9)	6.13 (6.2)	6.70 (6.9)	21.9	19.2	18.6	17.8	17.7	18.2	25.7	20.4	19.0	19.2	18.9	17.4	N	6,000
308	〃 〃	20.00	〃	6.90	6.95	7.00 (6.9)	7.16 (7.3)	8.20 (8.2)	21.7	18.6	18.4	18.3	18.2	18.2	25.4	19.1	18.1	16.6	16.7	16.7	N	6,000
309	〃 〃	21.00	〃	2.09	2.30	2.48 (2.4)	2.60 (2.7)	2.81 (2.7)	21.2	18.0	17.8	17.8	17.6	17.8	24.7	17.0	16.6	16.6	16.6	16.2	N	6,000
310	〃 〃	22.00	〃	2.13	2.35	2.46 (2.5)	2.60 (2.6)	2.75 (2.7)	21.5	17.8	17.5	17.5	17.4	17.5	25.1	17.3	17.0	16.8	16.9	16.4	N	6,000
311	〃 〃	23.00	〃	2.84	3.05	3.25 (3.2)	3.49 (3.5)	3.64 (3.7)	22.1	17.8	17.2	17.1	16.9	16.8	26.1	17.3	16.3	16.0	15.9	15.5	N	6,000
312	〃 30	00.00	〃	2.15	2.28	2.57 (2.5)	2.57 (2.7)	2.83 (2.8)	21.2	17.3	16.8	16.7	16.6	16.8	24.7	16.4	15.5	14.9	15.1	14.1	N	6,000

Observed data of wind, temperature, and vapour pressure (Continued)

No.	Date	Time	St.	Wind speed (m/sec)					Temperature (°C)						Vapour pressure (mb)						Wind dir.	Fetch (m)
				u_{25}	u_{50}	u_{100}	u_{200}	u_{400}	T_0	T_{25}	T_{50}	T_{100}	T_{200}	T_{400}	e_0	e_{25}	e_{50}	e_{100}	e_{200}	e_{400}		
	1955	h m																			
313	Oct. 30	01.00	9	2.68	2.83	3.05 (3.1)	3.18 (3.2)	3.35 (3.5)	21.8	17.6	17.4	16.9	16.4	16.4	25.6	15.3	14.0	13.9	13.5	13.7	N	6,000
314	〃	02.00	〃	2.75	2.94	3.05 (3.1)	3.28 (3.3)	3.50 (3.5)	21.9	17.7	17.4	17.0	17.0	16.8	25.7	16.5	16.0	14.8	14.8	14.4	N	6,000
315	〃	03.00	〃	0.90	0.85	1.04 (1.0)	1.05 (0.8)	1.00 (1.1)	21.9	17.7	17.3	17.2	17.2	17.0	25.7	17.0	15.9	14.7	14.3	14.0	NW	3,000
316	〃	04.00	〃	1.46	1.62	1.65 (1.7)	1.77 (1.7)	1.67 (1.8)	21.9	17.9	17.1	16.9	16.4	15.9	25.7	17.4	16.7	15.8	15.2	14.9	NW	3,000
317	〃	05.00	〃	3.14	3.48	3.65 (3.6)	3.83 (3.9)	4.10 (4.1)	21.8	17.5	17.0	16.6	16.4	16.2	25.6	17.5	16.2	15.1	15.2	15.0	NE	11,000
318	〃	06.00	〃	2.27	2.49	2.60 (2.7)	2.93 (2.9)	3.00 (3.1)	21.9	17.8	17.4	17.2	17.2	17.4	25.7	18.3	16.3	15.2	15.0	15.1	NE	11,000
319	〃	07.00	〃	2.55	2.80	2.97 (2.9)	3.26 (3.2)	3.23 (3.3)	21.8	18.3	18.0	17.8	17.7	17.6	25.6	17.5	16.1	15.7	15.2	15.0	NE	11,000
320	〃	08.00	〃	1.85	1.97	2.20 (2.1)	2.25 (2.2)	2.35 (2.4)	21.9	18.0	17.7	17.7	17.4	17.5	25.7	18.7	16.3	15.8	15.1	14.5	NNE	29,000
321	〃	09.00	〃	2.27	2.50	2.48 (2.6)	3.00 (2.8)	3.45 (3.4)	22.0	18.2	18.0	18.2	18.2	18.0	25.9	17.8	16.3	15.2	14.7	14.7	NW	3,000
322	〃	10.00	〃	3.30	3.50	3.62 (3.6)	3.98 (3.8)	4.71 (4.8)	21.9	19.3	19.0	18.8	18.5	17.6	25.7	20.0	16.9	16.8	17.4	16.0	NW	3,000
323	〃	11.00	〃	5.24	5.55	5.86 (6.0)	6.63 (6.8)	7.50 (7.9)	21.3	19.5	18.4	18.7	18.3	18.6	24.8	18.5	17.1	17.1	17.2	16.4	NW	3,000
324	〃	11.25	〃	5.07	5.30	5.53 (5.7)	5.84 (5.9)	6.85 (6.7)	21.4	—	—	—	—	18.7	25.0	—	—	—	—	—	NW	3,000
325	〃	12.00	〃	5.12	5.41	5.70 (5.7)	6.15 (6.0)	6.68 (6.8)	21.7	19.6	19.1	18.5	18.4	18.9	25.4	18.6	18.1	18.0	17.5	15.5	NW	3,000
326	Nov. 1	15.00	7	1.25	1.38	1.47 (1.5)	1.72 (1.7)	1.97 (1.9)	22.5	21.4	20.7	20.4	20.0	20.1	26.7	18.0	16.7	16.5	16.4	15.6	S S W	400
327	〃	16.00	〃	1.00	1.12	1.24 (1.1)	1.30 (1.3)	1.58 (1.5)	22.2	20.5	20.3	20.3	20.1	20.3	26.2	18.2	17.7	17.0	16.3	16.0	S	500
328	〃	16.40	〃	1.13	1.17	1.25 (1.3)	1.33 (1.3)	1.50 (1.5)	22.0	—	—	—	—	20.0	25.9	—	—	—	—	—	S	500
329	〃	17.00	〃	0.95	1.04	1.10 (1.0)	1.35 (1.4)	1.62 (1.7)	21.8	19.0	18.7	18.8	18.9	18.9	25.6	19.2	18.8	17.0	16.8	16.8	N	200
330	〃	17.40	〃	0.83	0.87	0.96 (0.8)	1.20 (1.2)	1.63 (1.5)	22.0	—	—	—	—	16.8	25.9	—	—	—	—	—	N	200
331	〃	18.00	〃	0.85	0.94	1.03 (1.0)	1.22 (1.1)	1.50 (1.4)	22.1	16.8	16.6	16.4	16.3	16.6	26.1	16.7	16.5	16.6	16.5	16.5	N	200
332	〃	19.00	〃	0.97	1.02	1.13 (1.2)	1.39 (1.3)	1.50 (1.5)	22.0	15.9	15.2	15.2	15.1	14.9	25.9	16.3	15.7	15.5	15.8	15.4	NW	150
333	〃	20.00	〃	1.08	1.20	1.25 (1.2)	1.46 (1.4)	1.78 (1.7)	21.8	14.7	14.5	14.2	14.2	14.0	25.6	15.3	15.3	14.8	14.8	14.8	NNW	160

Observed data of wind, temperature, and vapour pressure (Continued)

No.	Date	Time	St.	Wind speed (m/sec)					Temperature (°C)						Vapour pressure (mb)						Wind dir.	Fetch (m)
				u_{25}	u_{50}	u_{100}	u_{200}	u_{400}	T_0	T_{25}	T_{50}	T_{100}	T_{200}	T_{400}	e_0	e_{25}	e_{50}	e_{100}	e_{200}	e_{400}		
	1955	h m																			
334	Nov. 1	21.00	7	1.21	1.32	1.37 (1.1)	1.56 (1.5)	1.72 (1.8)	21.6	13.9	13.4	13.0	12.9	12.6	25.3	15.2	14.5	14.2	13.9	13.8	NW	150
335	〃 〃	22.00	〃	1.36	1.45	1.58 (1.6)	1.92 (2.0)	2.33 (2.3)	21.6	13.1	12.8	12.5	12.3	12.4	25.3	14.2	14.0	13.8	13.5	13.3	NW	150
336	〃 〃	23.00	〃	0.98	1.10	1.13 (1.2)	1.50 (1.5)	1.72 (1.6)	21.5	12.5	11.9	11.6	11.4	11.4	25.1	13.8	13.5	13.2	12.7	12.7	NW	150
337	〃 2	00.00	〃	1.70	1.74	2.00 (2.0)	2.26 (2.2)	2.60 (2.4)	21.6	12.4	11.8	11.4	11.3	11.2	25.3	13.8	13.0	12.9	12.6	12.5	WNW	150
338	〃 〃	01.00	〃	1.23	1.41	1.50 (1.6)	1.85 (1.7)	2.12 (2.0)	21.6	12.6	11.8	11.0	11.1	11.3	25.3	13.8	13.2	12.7	12.6	12.5	NW	150
339	〃 〃	02.00	〃	1.47	1.60	1.60 (1.7)	2.00 (2.0)	2.39 (2.3)	21.6	12.5	11.8	11.3	10.8	10.6	25.3	14.0	13.4	12.8	12.2	11.9	NW	150
340	〃 〃	03.00	〃	1.75	1.85	1.77 (1.9)	2.03 (2.1)	2.43 (2.5)	21.4	11.8	11.2	11.0	10.6	10.3	25.0	13.5	12.8	12.4	12.2	11.9	NW	150
341	〃 〃	04.00	〃	1.76	1.90	1.97 (1.9)	2.35 (2.4)	2.60 (2.6)	21.6	13.4	12.2	11.6	11.1	10.8	25.3	15.0	13.4	12.9	12.4	12.0	WNW	150
342	〃 〃	05.00	〃	1.00	1.10	1.23 (1.3)	1.57 (1.5)	2.10 (1.9)	21.5	13.4	12.7	11.9	11.4	11.3	25.1	15.0	13.9	13.0	12.7	12.6	WNW	150
343	〃 〃	06.00	〃	1.03	1.12	1.15 (1.1)	1.42 (1.5)	1.80 (1.9)	21.4	13.8	12.1	11.6	11.2	11.3	25.0	15.1	13.5	13.0	12.7	12.6	WNW	150
344	〃 〃	07.00	〃	1.41	1.50	1.60 (1.5)	2.16 (2.0)	2.31 (2.4)	21.2	14.2	13.2	12.5	12.2	12.5	24.7	15.3	14.2	13.7	13.4	13.4	NW	150
345	〃 〃	08.00	〃	1.01	1.06	1.15 (1.2)	1.50 (1.4)	1.72 (1.6)	21.7	15.8	14.9	14.6	14.4	14.0	25.4	16.3	15.2	14.7	14.5	14.1	NW	150
346	〃 〃	09.00	〃	1.00	1.09	1.47 (1.3)	1.68 (1.6)	1.94 (1.7)	21.6	18.0	17.3	17.1	16.6	16.2	25.3	17.4	16.4	15.8	15.4	15.0	NNW	160
347	〃 〃	10.00	〃	0.80	0.93	1.20 (1.1)	1.36 (1.5)	1.98 (2.0)	21.5	18.2	17.9	17.9	17.9	17.9	25.1	17.6	16.2	15.6	15.4	14.6	NW	150
348	〃 〃	11.00	〃	0.45	0.86	1.09 (1.2)	1.90 (1.9)	1.98 (2.2)	21.6	19.8	19.5	19.3	18.9	18.4	25.3	18.6	16.7	15.4	14.8	15.3	NNW	160
349	〃 〃	12.00	〃	0.73	1.11	1.50 (1.6)	1.80 (2.0)	2.30 (2.4)	21.9	19.6	18.5	17.5	17.1	17.4	25.7	18.8	16.9	16.4	15.5	16.3	N	200
350	〃 〃	13.00	〃	2.24	2.60	3.25 (3.1)	3.55 (3.7)	4.22 (4.3)	22.1	20.6	20.1	20.2	20.5	20.5	26.1	18.7	16.7	16.8	16.1	17.6	W	170
351	〃 〃	14.00	〃	1.82	2.15	2.68 (2.6)	3.15 (3.1)	3.63 (3.5)	22.2	20.4	20.3	20.1	19.7	19.5	26.2	17.1	16.0	15.4	16.2	16.0	W	170
352	〃 〃	15.00	〃	1.63	1.96	2.33 (2.4)	2.88 (2.8)	3.45 (3.3)	22.1	21.1	20.7	20.3	19.9	19.7	26.1	18.5	18.0	16.2	15.9	17.0	W	170
	1956																					
353	Aug. 31	15.00	9	1.64	1.73	1.85 (1.9)	1.94 (1.9)	2.06 (2.0)	29.1	30.0	30.4	30.7	30.9	30.9	39.5	31.1	30.7	30.5	30.6	30.6	S S E	25,000
354	〃 〃	16.00	〃	3.05	3.28	3.50 **(3.5)**	3.75 **(3.7)**	4.17 **(4.1)**	28.8	29.5	29.5	29.7	29.7	29.8	38.8	33.7	32.9	31.9	31.1	30.8	S	10,600

Observed data of wind, temperature, and vapour pressure (Continued)

No.	Date	Time	St.	Wind speed (m/sec)					Temperature (°C)						Vapour pressure (mb)						Wind dir.	Fetch (m)
				u_{25}	u_{50}	u_{100}	u_{200}	u_{400}	T_0	T_{25}	T_{50}	T_{100}	T_{200}	T_{400}	e_0	e_{25}	e_{50}	e_{100}	e_{200}	e_{400}		
	1956	h m																			
355	Aug. 31	17.00	9	3.08	3.35	3.52 (3.6)	3.85 (3.8)	4.36 (4.3)	28.4	29.3	29.5	29.6	29.6	29.7	37.9	31.4	31.3	31.5	31.2	30.7	S	10,600
356	〃	18.00	〃	2.65	2.81	3.06 (3.0)	3.28 (3.2)	3.66 (3.6)	28.2	28.5	28.6	28.6	28.7	28.8	37.5	33.3	32.7	32.6	31.8	31.5	S S W	5,300
357	〃	19.00	〃	2.38	2.63	2.84 (2.8)	3.16 (3.0)	3.50 (3.4)	28.3	28.0	27.7	27.4	27.4	27.5	37.7	32.5	29.9	29.8	29.6	29.5	NW	3,000
358	〃	20.00	〃	1.89	1.94	2.05 (2.1)	2.22 (2.3)	2.32 (2.4)	28.3	27.3	27.2	27.0	27.0	26.9	37.7	27.9	27.7	27.6	27.6	27.9	NW	3,000
359	〃	21.00	〃	1.39	1.37	1.53 (1.6)	1.64 (1.6)	1.75 (1.8)	28.3	27.1	27.1	27.0	27.1	27.0	37.7	27.0	25.1	24.7	24.4	25.4	N	6,000
360	〃	22.00	〃	1.16	1.24	1.25 (1.2)	1.34 (1.3)	1.46 (1.4)	28.3	27.2	26.9	26.8	26.8	26.8	37.7	28.7	28.4	28.2	27.7	27.7	NNW	4,300
361	〃	23.00	〃	1.00	1.05	1.13 (1.1)	1.20 (1.2)	1.23 (1.3)	28.2	26.7	26.6	26.5	26.4	26.2	37.5	27.5	27.1	27.4	26.8	26.9	NW	3,000
362	Sept. 1	00.00	〃	0.84	0.93	1.00 (1.0)	1.09 (1.0)	1.12 (1.2)	28.3	26.9	26.5	26.3	26.2	26.1	37.7	30.4	29.4	28.5	28.4	28.2	W	2,600
363	〃	01.00	〃	0.90	0.91	1.00 (0.6)	1.10 (1.0)	1.13 (1.2)	28.1	26.9	26.3	26.0	25.9	25.7	37.3	30.4	29.5	29.5	30.1	29.7	W	2,600
364	〃	02.00	〃	2.98	3.15	3.46 (3.5)	3.65 (3.6)	3.90 (3.8)	27.9	25.8	25.0	24.9	24.9	24.8	36.8	30.1	29.7	29.2	29.0	28.6	N	6,000
365	〃	03.00	〃	2.60	2.81	2.95 (3.0)	3.23 (3.2)	3.34 (3.4)	27.9	25.7	25.2	24.9	24.8	24.8	36.8	29.9	29.8	29.5	28.6	28.3	N	6,000
366	〃	04.00	〃	1.96	2.10	2.30 (2.4)	2.38 (2.4)	2.54 (2.6)	27.7	25.2	25.0	24.9	24.8	24.7	36.4	31.0	30.2	29.7	29.5	29.6	N	6,000
367	〃	05.00	〃	2.98	3.13	3.38 (3.4)	3.65 (3.6)	3.72 (3.8)	27.8	24.9	24.7	24.6	24.5	24.4	36.6	30.2	29.9	29.7	29.3	28.8	N	6,000
368	〃	06.00	〃	2.56	2.67	2.95 (3.0)	3.04 (3.1)	3.20 (3.2)	27.7	25.2	25.1	25.0	24.9	24.8	36.4	31.0	30.1	29.7	29.0	28.1	NW	3,000
369	〃	07.00	〃	1.98	2.08	2.15 (2.2)	2.22 (2.3)	2.27 (2.4)	27.7	26.7	26.4	26.4	26.3	26.3	36.4	30.5	29.2	28.7	28.5	28.3	NNW	4,300
370	〃	08.00	〃	2.63	2.73	2.92 (3.0)	3.19 (3.1)	3.38 (3.4)	27.9	27.4	27.1	27.0	27.0	27.0	36.8	31.1	30.3	30.3	30.1	29.6	NE	11,000
371	〃	09.00	〃	0.60	0.66	0.74 (0.0)	0.88 (0.0)	0.85 (0.8)	28.3	28.1	28.0	27.9	27.7	27.6	37.7	30.4	29.7	29.7	29.6	29.2	NE	11,000
372	〃	10.00	〃	1.05	1.11	1.15 (1.2)	1.26 (1.2)	1.30 (1.2)	28.6	28.3	28.2	28.2	28.0	28.0	38.4	32.1	30.3	29.8	29.2	28.6	S E	33,000
373	〃	11.00	〃	0.62	0.64	0.70 (0.0)	0.80 (0.0)	0.80 (0.4)	29.0	28.7	28.6	28.5	28.5	28.5	39.3	28.9	28.5	28.3	28.3	28.3	S S W	5,300
374	〃	12.00	〃	0.55	0.60	0.63 (0.0)	0.72 (0.0)	0.75 (0.6)	29.3	29.5	29.5	29.6	29.6	29.7	39.9	27.6	27.4	27.3	26.8	26.8	S W	3,500
375	〃	13.00	〃	0.98	1.05	1.13 (1.1)	1.17 (1.1)	1.29 (1.2)	29.8	30.6	30.8	31.0	31.3	31.6	41.1	31.1	30.4	30.0	29.3	28.6	S S W	5,300

Observed data of wind, temperature, and vapour pressure (Continued)

No.	Date	Time	St.	Wind speed (m/sec)					Temperature (°C)						Vapour pressure (mb)						Wind dir.	Fetch (m)
				u_{25}	u_{50}	u_{100}	u_{200}	u_{400}	T_0	T_{25}	T_{50}	T_{100}	T_{200}	T_{400}	e_0	e_{25}	e_{50}	e_{100}	e_{200}	e_{400}		
	1956	h m																			
376	Sept. 1	14.00	9	2.16	2.27	2.43 (2.5)	2.65 (2.6)	2.97 (2.9)	29.4	30.3	30.5	30.5	30.5	30.5	40.2	31.8	31.7	31.7	31.4	31.1	S S W	5,300
377	〃	15.00	〃	2.55	2.70	2.85 (2.9)	3.24 (3.2)	3.67 (3.6)	28.8	29.4	29.6	29.5	29.7	29.7	38.8	33.2	33.1	32.9	32.8	32.8	S S W	5,300
378	〃	16.00	〃	2.84	3.01	3.29 (3.3)	3.76 (3.7)	4.06 (4.1)	28.2	29.0	29.1	29.2	29.3	29.3	37.5	34.3	34.0	33.4	33.3	32.5	S W	3,500
379	〃	17.00	〃	4.96	5.26	5.58 (5.5)	5.76 (5.8)	6.45 (6.4)	27.8	28.4	28.5	28.6	28.8	28.8	36.6	32.8	32.7	32.7	32.5	32.5	S S E	25,000
380	〃	18.00	〃	3.71	4.03	4.24 (4.2)	4.45 (4.5)	5.06 (5.0)	27.9	28.3	28.4	28.5	28.6	28.6	36.8	32.3	32.0	31.4	31.6	31.3	S	10,600
381	〃	19.00	〃	—	—	(7.5)	(8.2)	(9.1)	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.1	37.0	31.0	31.0	31.0	31.2	30.6	S	10,600
382	〃	20.00	〃	—	—	(6.2)	(6.8)	(7.5)	28.3	—	27.9	27.9	27.9	27.9	37.7	—	31.4	31.3	31.0	30.8	S	10,600
383	〃	21.00	〃	—	—	(5.0)	(5.2)	(5.4)	28.2	27.7	27.8	27.9	27.8	27.8	37.5	32.1	31.6	31.0	30.6	30.3	S S E	25,000
384	〃	22.00	〃	—	—	(2.9)	(3.0)	(3.2)	27.9	27.8	27.8	27.8	27.8	27.7	36.8	30.8	30.8	30.8	30.6	30.4	S S E	25,000
385	〃	23.00	〃	—	—	(2.6)	(2.6)	(2.8)	27.8	27.1	27.1	27.1	27.0	27.1	36.6	31.8	31.3	30.8	30.6	30.5	N	6,000
386	〃	2 00.00	〃	—	—	(1.5)	(1.5)	(1.6)	27.8	27.0	26.8	26.6	26.2	26.3	36.6	31.3	30.7	30.1	29.6	29.3	N	6,000
387	〃	01.00	〃	—	—	(1.2)	(1.3)	(1.3)	27.7	26.1	26.1	26.1	26.0	25.9	36.4	32.5	31.7	30.9	31.3	30.6	WNW	2,800
388	〃	02.00	〃	—	—	(1.6)	(1.7)	(1.8)	27.8	26.8	25.9	25.8	25.7	25.8	36.6	31.3	31.1	30.9	30.4	30.4	NW	3,000
389	〃	03.00	〃	—	—	(3.1)	(3.3)	(3.4)	27.4	25.8	25.8	25.8	25.7	25.7	35.8	30.9	30.9	30.9	30.4	30.4	NNW	4,300
390	〃	04.00	〃	—	—	(2.0)	(2.1)	(2.3)	27.5	25.8	25.7	25.6	25.5	25.4	36.0	31.4	30.9	30.5	30.3	30.1	NNW	4,300
391	〃	05.00	〃	—	—	(2.2)	(2.3)	(2.4)	27.6	25.7	25.6	25.5	25.6	25.4	36.2	31.0	30.8	30.6	30.0	30.4	N	6,000
392	〃	06.00	〃	—	—	(3.0)	(3.2)	(3.4)	27.6	26.0	25.7	25.4	25.4	25.2	36.2	31.2	30.7	31.2	30.4	30.0	NNW	4,300
393	〃	07.00	〃	3.17	3.34	3.56 (3.6)	3.80 (3.8)	3.95 (4.0)	27.6	26.9	26.7	26.5	26.5	26.6	36.2	31.4	31.1	30.7	29.9	29.6	NNW	4,300
394	〃	08.00	〃	1.36	1.50	1.55 (1.4)	1.68 (1.6)	1.92 (1.9)	27.8	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	36.6	30.5	30.2	30.0	30.0	29.7	NW	3,000
395	〃	09.00	〃	0.83	0.88	0.98	1.08	1.11 (1.0)	28.2	28.4	28.5	28.6	28.7	28.7	37.5	30.2	29.8	30.0	29.7	28.7	NNE	29,000
396	〃	10.00	〃	0.66	0.71	0.73 (0.0)	0.78 (0.6)	0.85 (1.0)	28.4	—	28.9	29.0	29.1	29.0	37.9	—	29.6	30.0	29.7	28.7	NE	11,000

Observed data of wind, temperature, and vapour pressure (Continued)

No.	Date	Time	St.	Wind speed (m/sec)					Temperature (°C)					Vapour pressure (mb)					Wind dir.	Fetch (m)
				u_{25}	u_{50}	u_{100}	u_{200}	u_{400}	T_0	T_{25}	T_{50}	T_{100}	T_{200}	T_{400}	e_0	e_{25}	e_{50}	e_{100}	e_{200}	e_{400}		
	1956	h m																			
397	Sept. 2	10.45	9	0.85	0.90	0.98	1.10	1.15	28.3	—	—	—	—	29.3	37.7	—	—	—	—	—	N E	11,000
						(0.6)	(0.6)	(1.2)														
398	〃 〃	11.00	〃	0.53	0.60	0.59	0.59	0.65	28.3	29.2	29.3	29.4	29.4	29.4	37.7	30.4	30.3	30.3	30.0	29.3	N E	11,000
						(0.0)	(0.0)	(0.6)														
399	〃 〃	12.00	〃	0.55	0.62	0.65	0.71	0.93	28.3	29.3	29.6	29.7	30.1	30.4	37.7	28.5	27.6	26.8	27.0	26.0	W	2,600
						(0.3)	(0.6)	(1.0)														
400	〃 〃	13.00	〃	1.00	1.12	1.18	1.35	1.56	28.9	30.0	30.3	30.3	30.5	30.6	39.0	31.5	30.7	29.7	28.8	27.9	S W	3,500
						(1.2)	(1.3)	(1.5)														
401	〃 〃	14.00	〃	4.38	4.71	5.05	5.45	5.82	28.5	29.8	29.9	30.0	30.0	30.1	38.1	30.7	30.2	30.7	31.2	30.6	S E	33,000
						(5.1)	(5.4)	(5.7)														
402	〃 〃	15.00	〃	5.35	5.70	6.15	6.60	6.88	28.4	—	29.9	29.9	29.9	30.0	37.9	—	32.3	32.1	31.8	30.1	S E	33,000
						(6.2)	(6.5)	(6.8)														

Observed data of wave elements

No.	Length (cm)	Height (cm)	Period (sec)	Remark
1	10	2	0.33	
2	15	2	0.38	
3	15	1	0.37	
4	9.0	1	0.30	
5	0	0	0	no wave
6	8.1	1	0.29	
7	15	2	0.33	
8	18	2	0.34	
9	20	1	0.43	
10	8.2	1	0.35	
11	13	1	0.38	
12	10	1	0.32	
13	23	2	0.41	
14	6.8	0.5	0.31	
15	8.0	0.5	0.31	
16	7.5	1	0.31	
17	0	0	0	no wave
18	0	0	0	no wave
19	8.5	1	0.29	
20	7.4	0.5	0.27	
21	10	1	0.38	
22	15	1	0.35	
23	17	2	0.41	
24	24	4	0.40	
25	25	3	0.43	
26	48	3	0.54	
27	36	4	0.44	
28	230	28	1.20	whitecaps
29	210	36	1.33	whitecaps
30	195	26	1.76	whitecaps
31	350	35	2.07	whitecaps
32	300	36	1.58	whitecaps
34	10	1	0.38	
35	13	1	0.40	
36	10	1	0.34	
37	15	1	0.38	
38	38	4	0.42	
39	57	6	0.62	
54	18	2	0.39	
55	0	0	0	no wave
56	12	2	0.40	
57	0	0	0	no wave
58	6.3	0.5	0.27	

Observed data of wave elements (Continued)

No.	Length (cm)	Height (cm)	Period (sec)	Remark
59	14	2	0.39	
60	125	10	1.15	
61	105	7	0.94	
62	88	5	0.75	
63	74	6	0.61	
64	120	6	1.00	
65	61	5	0.65	
66	31	4	0.46	
67	12	3	0.38	
68	18	2	0.39	
84	155	12	1.30	
85	39	5	0.49	
86	46	6	0.58	
87	27	4	0.45	
88	22	3	0.43	
89	64	8	0.70	
90	36	4	0.61	
91	0	0	0	no wave
92	6.5	1	0.30	
108	55	6	0.61	
109	9.1	1	0.27	
110	12	1	0.32	
111	32	2	0.48	
112	57	3	0.63	
113	28	3	0.41	
114	15	1	0.41	
131	27	3	0.39	
132	33	3	0.46	
133	32	3	0.53	
134	40	4	0.55	
135	41	3	0.54	
136	30	2	0.49	
137	36	2	0.47	
138	43	3	0.62	
155	55	6	0.60	
156	43	4	0.60	
157	30	1	0.53	
158	38	4	0.43	
159	31	3	0.48	
160	0	0	0	no wave
161	18	2	0.41	
162	0	0	0	no wave
163	12	1	0.38	
179	14	1	0.39	
180	32	2	0.41	
181	25	3	0.38	
182	32	4	0.45	
183	6.5	0.5	0.26	
184	43	3	0.55	
185	49	3	0.61	
186	40	5	0.52	
187	20	4	0.40	
188	55	7	0.65	
189	33	4	0.45	
190	36	5	0.45	
191	18	2	0.39	
192	11	1	0.32	
193	24	3	0.39	
223	0	0	0	no wave
224	14	2	0.35	
225	0	0	0	no wave
228	—	—	—	whitecaps
230	30	6	0.43	
231	120	15	1.28	
232	480	55	2.14	whitecaps
277	0	0	0	no wave
278	0	0	0	no wave
279	7.6	0.5	0.26	
280	7.3	0.5	0.29	
281	0	0	0	no wave
302	—	—	—	whitecaps
303	360	30	1.82	whitecaps
304	280	25	1.67	whitecaps
305	—	—	—	whitecaps
306	—	—	—	whitecaps
321	120	17	0.94	
322	175	32	1.50	whitecaps
323	360	40	1.50	whitecaps
324	430	55	2.00	whitecaps
325	360	24	1.30	whitecaps
326	15	1	0.31	
327	13	1	0.32	
328	10	1	0.32	
330	8.0	1	0.30	
344	7.8	6	0.31	
345	4.5	0.5	0.26	
346	10	0.5	0.29	
347	7.2	0.5	0.26	

Observed data of wave elements (Continued)

No.	Length (cm)	Height (cm)	Period (sec)	Remark
348	0	0	0	no wave
349	0	0	0	no wave
350	25	4	0.39	
351	35	3	0.38	
352	38	3	0.42	
354	110	8	1.09	
355	180	9	1.40	
370	50	6	0.68	
371	0	0	0	no wave
372	9.2	1	0.27	
373	0	0	0	no wave
374	0	0	0	no wave
375	9.2	1	0.29	
376	61	6	0.83	
377	43	7	0.65	
378	38	6	0.43	
379	—	—	—	whitecaps
395	8.8	0.5	0.31	
396	0	0	0	no wave
397	8.3	1	0.32	
398	0	0	0	no wave
399	0	0	0	no wave
400	5.8	0.5	0.29	
401	400	21	1.94	whitecaps
402	530	23	2.07	whitecaps

Observed data of evaporation

Date	Time (from-to)	Evaporation from (mm/6 hours)	
		sea surface	pan on deck
Dec. 23, 1953	09h–15h	1.12	1.50
〃 24, 〃	09–15	1.48	0.55
〃 25, 〃	09–15	0.67	0.47
Jan. 6, 1954	09–15	1.82	0.60
〃 7, 〃	09–15	1.35	1.10
〃 8, 〃	09–15	1.60	0.58
〃 14, 〃	09–15	0.75	0.70
Dec. 15, 〃	15–21	1.13	0.55
〃 〃, 〃	21–03	1.00	0.16
〃 16, 〃	03–09	0.75	0.10
〃 〃, 〃	09–15	0.82	0.43
〃 17, 〃	09–15	1.10	1.28
〃 〃, 〃	15–21	1.92	0.44
〃 〃, 〃	21–03	1.44	0.12
〃 18, 〃	03–09	3.05	0.23
〃 〃, 〃	09–15	1.26	1.17
〃 〃, 〃	15–21	1.71	0.20
〃 〃, 〃	21–03	1.85	0.11
〃 19, 〃	03–09	1.38	0.10
〃 〃, 〃	09–15	1.30	1.30
〃 〃, 〃	15–21	1.67	0.28
〃 〃, 〃	21–03	0.55	0.05
〃 20, 〃	03–09	1.65	0.17
〃 〃, 〃	09–15	1.51	1.13
Dec. 20, 1954	15h–21h	1.35	0.45
〃 〃, 〃	21–03	1.08	0.40
〃 21, 〃	03–09	1.85	0.52
〃 〃, 〃	09–15	1.70	1.83
〃 〃, 〃	15–21	1.90	0.50
〃 〃, 〃	21–03	3.80	0.10
〃 22, 〃	03–09	1.63	0.12
〃 〃, 〃	09–15	0.83	1.40
April 26, 1955	09–15	0.51	0.65
〃 〃, 〃	15–21	0.16	0.25
〃 〃, 〃	21–03	0.25	0.10
〃 27, 〃	03–09	0.27	0.48
〃 28, 〃	21–03	0.33	0.12
〃 29, 〃	03–09	0.21	0.52
〃 〃, 〃	09–15	0.40	0.84
〃 〃, 〃	21–03	0.34	0.15
May 1, 〃	15–21	0.20	0.31
〃 〃, 〃	21–03	0.18	0.10
〃 2, 〃	03–09	0.20	0.62
〃 8, 〃	15–21	0.15	0.25
〃 〃, 〃	21–03	0.31	0.10
〃 9, 〃	03–09	0.45	0.68
〃 〃, 〃	09–15	0.19	1.25
〃 〃, 〃	15–21	0.68	0.95

Observed data of evaporation (Continued)

Date	Time (from-to)	Evaporation from (mm/6 hours)	
		sea surface	pan on deck
May 9, 1955	21h–03h	0.30	0.13
〃 10, 〃	03–09	0.22	0.50
〃 〃, 〃	09–15	0.30	0.85
Aug. 5, 〃	15–21	0.33	1.32
〃 〃, 〃	21–03	0.85	0.27
〃 6, 〃	03–09	1.06	0.55
〃 〃, 〃	09–15	0.77	3.74
〃 〃, 〃	15–21	0.30	1.08
〃 〃, 〃	21–03	0.45	0.55
〃 7, 〃	09–15	0.95	3.86
Oct. 26, 〃	21–03	1.25	0.50
〃 27, 〃	03–09	1.16	0.68
〃 〃, 〃	09–15	0.80	2.03
〃 〃, 〃	15–21	1.72	0.35
〃 〃, 〃	21–03	1.80	0.53
〃 28, 〃	03–09	1.10	0.25
〃 29, 〃	09–15	0.85	0.92
Oct. 29, 1955	15h–21h	1.30	0.74
〃 〃, 〃	21–03	1.56	0.31
〃 30, 〃	03–09	1.27	0.26
〃 〃, 〃	09–15	1.06	1.34
Nov. 1, 〃	15–21	0.73	0.60
〃 〃, 〃	21–03	1.24	0.05
〃 2, 〃	03–09	1.61	0.10
〃 〃, 〃	09–15	1.35	2.20
Aug.31, 1956	15–21	0.40	2.17
〃 〃, 〃	21–03	1.05	0.33
Sept. 1, 〃	03–09	1.40	0.54
〃 〃, 〃	09–15	1.72	3.56
〃 〃, 〃	15–21	0.83	2.00
〃 〃, 〃	21–03	0.80	0.28
〃 2, 〃	03–09	0.92	0.35
〃 〃, 〃	09–15	1.21	2.88

Part II Wind Profiles over the Sea not far apart from Land

1. Historical Note.

Wind observations at several levels up ot a few meters over the sea were made by G. Wüst[2] for the first time. Analysing these Wüst's data, W. Shoulejkin's, and R. B. Montgomery's, C. G. Rossby[3] concluded that the wind profile for light wind over the sea obeys the well-known Karman's formula,

$$\frac{u}{u_*} = 5.5 + \frac{1}{k_0} \ln \frac{u_* z}{\nu}, \qquad (1)$$

of hydrodynamically smooth flow; and that for moderate or strong wind a layer obeying Karman's formula (1) exsists below a layer obeying Prandtle's formula,

$$\frac{u}{u_*} = \frac{1}{k_0} \ln \frac{z}{z_0}, \qquad (2)$$

of hydrodynamically rough flow and the boundary of these two layers is ca lm in height. In the preceeding equations, u is wind speed (cm/sec) at z cm upwards from the sea surface, u_* is friction velocity and is $\sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}$ (τ_0 shearing stress, ρ density of air), k_0 is Karman's constant of ca 0.4, ν kinematic molecular viscosity, and z_0 roughness parameter, which is equal to ca 0.6cm according to Rossby.

H. Bruch[4], using his own observations in the layer below 225 cm, showed that the two layers, pointed out by Rossby, exsist and the boundary between them is 64cm in height independent of wind speed. H. U. Roll[5] pointed out the effect of moving mast on Wüst's data and manifested that wind profile over the sea obeys equation (1) of hydrodynamically smooth flow, according to his own observations in the layer below 200 cm level made with instruments mounted to a pole fixed to the sea floor.

On the other hand, F. Model,[6] reanalysing Bruch's data, showed that wind profile can be considered to obey equation (2) of hydrodynamically rough flow and $z_0 = 0.03$–0.06cm independent of wind speed. E. L. Deacon,[7] basing on N. Johnson's data, also stated that wind profile obeys equation (2) and $z_0 = 0.02$–0.04cm. J. S. Hay,[8] according to his own observations, suggested that wind profile within 50–800 cm above the sea surface obeys equation (2) and z_0 increases with wind speed (0.02–0.25 cm). He added some discussions concerning effects of stability on wind profile.

2. Wind Profiles under Neutral Condition of Stability.

The discussions reviewed in the preceeding section are based on the aerodynamical analogy. Therefore, such wind profiles are picked up here that they can be considered to be almost free from any influence of stability condition. This condition of nearly neutral equilibrium of stability is defined here as the temperature difference ($T_{400} - T_0$) of $-0.5 \sim +0.5$°C (inclusive of both limits).

In the present observations, made at Kagoshima Bay, air flow arriving at observing points after having passed over land area is observed. It is well-known that wind profile over land obeys equation (2) of hydrodynamically rough flow. Accordingly,

when air flow with this character over land area sweeps over the sea of hydrodynamically smooth surface, it is expected that a lower layer forms into obeying equation (1) and that the thickness of this layer increases with progressive time.

To confirm these expectations, observed data must be classified into some groups according to progressive time. The author defines the progressive time (t) as the ratio of fetch (f) and wind speed at 400 cm level (u_{400}), i.e. $t(\text{sec}) = \frac{f}{u_{400}}$, where fetch ($f$) is defined as windward straight distance from a observing point to the coast.

Observed data belonging to this category of neutral condition of stability are classified into three groups according to progressive time as follows:

(i) $t < 600$ sec, (ii) $600 \leq t < 3{,}000$ sec, (iii) $3{,}000$ sec $\leq t$.

The mean values for each group will be discussed, because more reliable conclusion will be derived from mean profile than from individual ones. The mean wind profiles for each group under neutral condition of stability are as follows.

Mean wind profile under the condition of $-0.5°C \leq T_{400} - T_0 \leq +0.5°C$

Range of t (sec)	Wind speed (cm/sec)					Range of u_{400} (cm/sec)	No. of obs.
	u_{25}	u_{50}	u_{100}	u_{200}	u_{400}		
$t <$ 600	320	346	373	426	487	439–535	2
$600 \leq t < 3{,}000$	251	267	285	310	345	138–650	11
$3{,}000 \leq t$	138	148	160	172	181	72–724	11

These observed profiles are compared with equation (1) of hydrodynamically smooth flow, and the results are shown in the following table in the form of wind ratio. Calculated values in this table are obtained by equation (1) from the respective mean values of wind speed at $z = 25$cm. Inspecting the results shown in this table, we can find following facts:

(1) For $t \geq 3{,}000$ sec, wind profile obeys equation (1) up to at least the observing height of 400 cm.

(2) For $t < 3{,}000$ sec, wind profile in a lower layer obeys equation (1), and the height of upper boundary of this layer increases with increasing t.

Comparison between observed and calculated wind ratio under neutral condition of stability

Range of t (sec)		Height (cm)				
		25	50	100	200	400
$t <$ 600	Observed	1.000	1.081	1.166	1.331	1.522
	Calculated	1.000	1.070	1.140	1.210	1.281
	Difference (%)		+1.0	+2.3	+10.0	+18.8
$600 \leq t < 3{,}000$	Observed	1.000	1.064	1.135	1.235	1.374
	Calculated	1.000	1.071	1.143	1.215	1.287
	Difference (%)		−0.7	−0.7	+1.6	+6.8
$3{,}000 \leq t$	Observed	1.000	1.072	1.159	1.246	1.312
	Calculated	1.000	1.076	1.152	1.228	1.304
	Difference (%)		−0.4	+0.6	+1.5	+0.6

In the latter case of $t<3{,}000$ sec, supposing that the upper layer obeys equation (2) of hydrodynamically rough flow, while the lower layer obeys equation (1) of hydrodynamically smooth flow, we can find the height of the boundary (h) of these two layers. According to R. B. Montgomery,[9] if we assume that u is continuous at $z=h$ and allow that u_* is discontinuous at $z=h$, the required height (h) is obtained by the equation of

$$\ln\frac{h}{z_0}=\frac{5.5k_0+\ln\frac{u_{*1}z_0}{\nu}}{\frac{u_{*2}}{u_{*1}}-1}, \qquad (3)$$

derived from equations (1) and (2), where u_{*1} and u_{*2} are friction velocity in the lower and upper layers respectively. Numerical values of z_0 and u_{*2} are calculated by equation (2) from observed values of u_{200} and u_{400}, assuming $h<200$ cm, while u_{*1} is calculated by equation (1) from observed value of u_{25}. Thus, numerical values of h can be obtained by (3) from these values and they are 105 cm and 164 cm for $t=518$ sec (mean value of individual ones belonging to (i) $t<600$ sec) and $t=1{,}306$ sec (mean value for (ii) $600\leq t<3{,}000$ sec) respectively. From these h values, rough empirical formula of $h\fallingdotseq 4.6\sqrt{t}$ is obtained, assuming that h is proportional to $\sqrt{t}$.

3. Wind Profiles under Stable Condition.

The stratification will be called stable, when the temperature difference $(T_{400}-T_0)$ exceeds $+0.5$°C. No actual value of this temperature difference exceeds $+2.8$°C. Observed data belonging to this category of stable condition are classified into following three steps of progressive time;

(i) $t<3{,}000$ sec (ii) $3{,}000\leq t<8{,}000$ sec (iii) $8{,}000$ sec $\leq t$,

because there is no complete set of observation belonging to $t<600$ sec and are considerable number of observations of large progressive time. Mean wind profiles for each step of t are calculated and listed as follows.

Mean wind profile under the condition of $+0.5°C<T_{400}-T_0$

Range of t (sec)	Wind speed (cm/sec)					Range of u_{400} (cm/sec)	No. of obs.
	u_{25}	u_{50}	u_{100}	u_{200}	u_{400}		
$t<3{,}000$	238	255	273	299	336	93–600	19
$3{,}000\leq t<8{,}000$	283	304	325	345	374	122–688	14
$8{,}000\leq t$	93	101	106	114	121	65–206	5

These observed profiles and those of hydrodynamically smooth flow are compared in the following table in the form of wind ratio. Inspecting the table, we can see the following facts:

(1) For $t\geq 8{,}000$ sec, agreement between observed and calculated profiles is pretty good up to at least the observing height of 400 cm.

(2) For $t<8{,}000$ sec, wind profile only in the lower layer obeys equation (1), and the thickness of the layer increases with progressive time.

Comparison between observed and calculated wind ratio under stable condition

Range of t (sec)		Height (cm)				
		25	50	100	200	400
$t<3,000$	Observed	1.000	1.071	1.147	1.256	1.412
	Calculated	1.000	1.072	1.144	1.216	1.288
	Difference (%)		−0.1	+0.3	+3.3	+9.6
$3,000\leq t<8,000$	Observed	1.000	1.074	1.148	1.219	1.322
	Calculated	1.000	1.071	1.141	1.213	1.284
	Difference (%)		+0.3	+0.6	+0.5	+3.0
$8,000\leq t$	Observed	1.000	1.086	1.140	1.226	1.301
	Calculated	1.000	1.079	1.158	1.237	1.316
	Difference (%)		+0.6	−1.6	−0.9	−1.1

In the latter case of $t<8,000$ sec, we obtain the following results, calculating the height of the boundary (h) by the same way to the previous section:

(i) $h=147$ cm for $t=1,720$ sec, (ii) $h=186$ cm for $t=4,801$ sec.

Accordingly, a rough empirical formula of $h\fallingdotseq 3.1\sqrt{t}$ is obtained.

4. Wind Profiles under Unstable Condition.

The stratification will be called unstable, when the temperature difference ($T_{400}-T_0$) is lower than -0.5°C. The observed data belonging to this category of unstable condition are divided into three stages of instability,

(a) $-5.0°C\leq T_{400}-T_0<-0.5°C$ (weak instability),

(b) $-10.0°C\leq T_{400}-T_0<-5.0°C$ (moderate instability),

(c) $T_{400}-T_0<-10.0°C$ (strong instability),

since there are great number of observations under unstable condition.

(a) For weak instability, mean wind profiles and the comparison of these with equation (1) are shown in the following tables. In this case, there are considerable number of observations of small progressive time. Therefore, the boundaries of subdivision by t are somewhat different from the previous cases. It is seen from the table that wind profiles obey equation (1) up to the 400 cm level for $t\geq 1,500$ sec.

Mean wind profile under the condition of $-5.0°C\leq T_{400}-T_0<-0.5°C$

Range of t (sec)	Wind speed (cm/sec)					Range of u_{400} (cm/sec)	No. of obs.
	u_{25}	u_{50}	u_{100}	u_{200}	u_{400}		
$t<60$	209	242	284	324	372	284–467	13
$60\leq t<300$	131	148	166	191	221	162–305	15
$300\leq t<1,500$	312	331	351	380	422	57–833	30
$1,500\leq t<3,000$	173	186	199	212	223	112–390	27
$3,000\leq t$	188	202	215	230	242	52–699	25

Comparison between observed and calculated wind ratio under weak instability

Range of t (sec)		Height (cm)				
		25	50	100	200	400
$t<60$	Observed	1.000	1.158	1.359	1.550	1.780
	Calculated	1.000	1.073	1.146	1.219	1.292
	Difference (%)		+7.9	+18.6	+27.2	+37.8
$60\leq t<300$	Observed	1.000	1.130	1.267	1.458	1.687
	Calculated	1.000	1.076	1.153	1.229	1.306
	Difference (%)		+5.0	+9.9	+18.6	+29.2
$300\leq t<1,500$	Observed	1.000	1.061	1.125	1.218	1.353
	Calculated	1.000	1.070	1.140	1.211	1.281
	Difference (%)		−1.0	−1.3	+0.6	+5.6
$1,500\leq t<3,000$	Observed	1.000	1.075	1.150	1.225	1.289
	Calculated	1.000	1.074	1.148	1.223	1.297
	Difference (%)		+0.1	+0.2	+0.2	−0.6
$3,000\leq t$	Observed	1.000	1.074	1.144	1.223	1.287
	Calculated	1.000	1.073	1.147	1.221	1.295
	Difference (%)		+0.1	−0.3	+0.2	−0.6

(b) For moderate instability, mean wind profiles and the similar comparison as previous case are shown in the following tables. The boundaries of subdivision by t are a bit changed again, because there are few observations of large t and more observations of small t than previous case. It is seen from the table that wind profile up to the 400 cm height obeys equation (1) for $t\geq 300$ sec.

Mean wind profile under the condition of $-10.0°C\leq T_{400}-T_0<-5.0°C$

Range of t (sec)	Wind speed (cm/sec)					Range of u_{400} (cm/sec)	No. of obs.
	u_{25}	u_{50}	u_{100}	u_{200}	u_{400}		
$t<60$	273	300	333	374	425	176–647	23
$60\leq t<100$	141	151	164	182	204	134–313	25
$100\leq t<300$	131	142	151	168	190	60–394	29
$300\leq t$	235	251	267	283	301	90–735	16

Comparison between observed and calculated wind ratio under moderate instability

Range of t (sec)		Height (cm)				
		25	50	100	200	400
$t<60$	Observed	1.000	1.099	1.220	1.370	1.557
	Calculated	1.000	1.071	1.142	1.213	1.285
	Difference (%)		+2.6	+6.8	+12.9	+21.2
$60\leq t<100$	Observed	1.000	1.071	1.163	1.291	1.447
	Calculated	1.000	1.075	1.151	1.227	1.303
	Difference (%)		−0.4	+1.0	+5.2	+11.1
$100\leq t<300$	Observed	1.000	1.084	1.153	1.282	1.450
	Calculated	1.000	1.076	1.153	1.229	1.305
	Difference (%)		+0.7	0.0	+4.3	+11.1
$300\leq t$	Observed	1.000	1.068	1.136	1.204	1.281
	Calculated	1.000	1.072	1.144	1.216	1.289
	Difference (%)		−0.4	−0.7	−1.0	−0.6

(c) For strong instability, no observation is taken under large t. Therefore, the observed data are subdivided into two steps of t ($t<60$ sec and $60\,\text{sec}\leq t$). Mean wind profiles and the similar comparison as before are shown in the following tables.

Mean wind profile under the condition of $T_{400}-T_0<-10.0°C$

Range of t (sec)	Wind speed (cm/sec)					Range of u_{400} (cm/sec)	No. of obs.
	u_{25}	u_{50}	u_{100}	u_{200}	u_{400}		
$t<60$	236	254	271	294	324	260–500	20
$60\leq t$	151	162	172	186	200	107–286	57

Comparison between observed and calculated wind ratio under strong instability

Range of t (sec)		Height (cm)				
		25	50	100	200	400
$t<60$	Observed	1.000	1.076	1.148	1.246	1.373
	Calculated	1.000	1.072	1.144	1.216	1.289
	Difference (%)		+0.4	+0.3	+2.5	+6.5
$60\leq t$	Observed	1.000	1.073	1.139	1.232	1.325
	Calculated	1.000	1.075	1.150	1.226	1.301
	Difference (%)		−0.2	−1.0	+0.5	+1.8

The relation between the height (h) of the lower layer obeying equation (1) of hydrodynamically smooth flow and the progressive time (t) is already assumed to be a parabolic form. A verification for this assumption can be shown from the comparatively great numbers of observed data under unstable conditions. Numerical values of h, calculated by the same procedure as before in these cases, are plotted against t in Fig. 3. It is understood from Fig. 3 that the appropriateness of the assumption is pretty good and rough empirical fromulae of $h\fallingdotseq 7.3\sqrt{t}$, $h\fallingdotseq 12.7\sqrt{t}$, and $h\fallingdotseq 20.0\sqrt{t}$ are obtained for weak, moderate, and strong instability respectively.

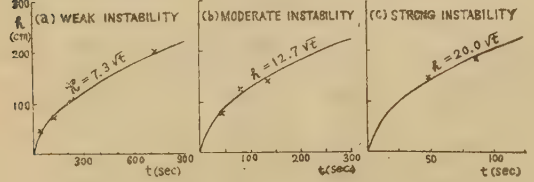


Fig. 3. Parabolic increase of the thickness (h) of the lower layer of smooth flow with increasing progressive time (t) under (a) weak, (b) moderate, and (c) strong instability. Calculated values by equation (3) indicated by crosses.

5. Conclusions and Remarks

Following conclusions are derived from the studies stated above:

(1) Wind profile over the mid-ocean far apart from land under any condition of stability can be considered to obey equation (1) of hydrodynamically smooth flow.

(2) When air flow sweeps over the sea surface after having passed over land area, a lower layer near the sea surface forms into obeying equation (1) of hydrodynami-

cally smooth flow and the thickness of the layer (h) increases with progressive time (t), while wind profile above this layer can be considered to obey equation (2) of hydrodynamically rough flow in the same manner as that over land.

(3) The relations between the height of the lower layer (h), within which wind profile obeys equation (1), and the progressive time (t) are represented by the following rough empirical formulae:

$$h \fallingdotseq 3.1\sqrt{t} \quad \text{for stable condition,}$$
$$h \fallingdotseq 4.6\sqrt{t} \quad \text{for neutral condition of stability,}$$
$$h \fallingdotseq 7.3\sqrt{t} \quad \text{for weak instability,}$$
$$h \fallingdotseq 12.7\sqrt{t} \quad \text{for moderate instability,}$$
$$h \fallingdotseq 20.0\sqrt{t} \quad \text{for strong instability.}$$

From these relations it is clear that h increases rapidly with progressive time under unstable condition and slowly under stable condition. This influence of stability condition on wind profile is an especially notable fact which deserves dynamical explanations.

Remarks:

The exsistence of the lower layer over the sea obeying equation (1) of hydrodynamically smooth flow is a remarkable fact pointed out by Rossby. According to him, wind profile within the layer below usual anemometer heights obeys equation (1) for light wind, while only the lower part of the layer obeys equation (1) for moderate wind. However, if the fetch (f) is constant, the height of the lower layer (h) obeying equation (1) must increase for light wind, because progressive time (t) becomes obviously larger than that for moderate wind. The height (h) for light wind in his conclusion seems to exceed the observing height, though the perfect confirmation to this reasoning cannot be made owing to indistinction of full details of the data employed by him. Therefore, Rossby's results are consistent with our results.

H. Bruch's conclusion is similar to the author's, but he did not discuss how the height of the boundary of the two layers is determined. H. U. Roll's conclusion is also consistent with the author's. According to him, wind profile obeys equation (1) within whole layer up to the observing height of 200cm. His conclusion seems to be natural, because many observations were taken when it blows from the sea, though fetches are not indicated clearly.

On the other hand, the layer obeying equation (1) is disregarded by Model, Hay, and Johnson, as stated above. However, in Hay's observations, it is supposed that the height of the lower layer (h) will be about 50 cm, because progressive time come within about 100–200 sec from numerical values of the fetch of ca 1,000m and wind speed of 5–10m/sec. Moreover, wind speed at 50 cm level indicates frequently a higher value than that obtained by the best fitting of equation (2) to whole observing layer. Therefore, his observations cannot be serious objections to our conclusions. Model's study is similar to Hay's one using best fitting method. Johnson's observations can be out of discussion, because the observing levels are very high. It must be

added that we can readily see from simple calculations that the incomplete sets of our observed data, rejected in the calculations of mean wind profile, also support our conclusions.

Part III Wind Profiles and Wind Waves

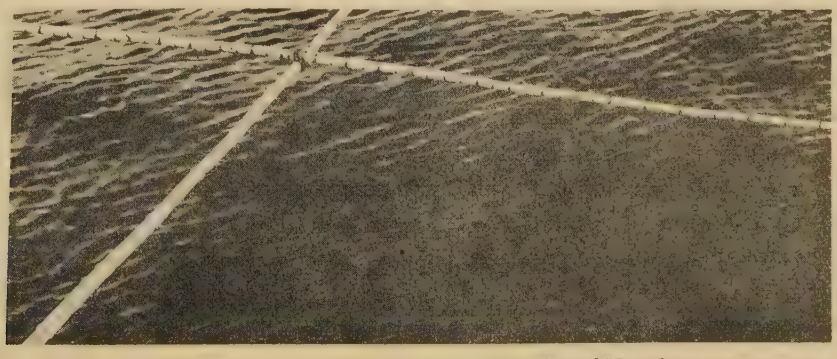
1. Introduction.

It is a well-known fact that the state of sea surface or wind waves depends upon wind speed prevailing above the surface. From this fact, Beaufort's wind force scale is derived empirically. However, a description of this relation between wind speed and wind waves is nonsence unless the anemometer height is specified, because wind speed above the sea surface varies with height.

It can be considered that the dynamically controlling force of formation of wind waves is shearing stress (τ_0), namely it depends upon friction velocity, $u_*(=\sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}})$. From this point of view, relations between friction velocity and wind waves are examined from our observed data. Friction velocity for this purpose is calculated by equation (1) of hydrodynamically smooth flow from numerical value of observed wind speed at the lowest observing level, assuming that a layer obeying equation (1) exsists always above the sea surface at least up to the level, according to the conclusion of Part II of the present paper.

2. Critical Friction Velocity for the First Formation of Wind Waves.

There are 156 sets of simultaneous observations of wind and waves and in 21 of these sets no persistent waves are found (data table in Part I). For these 21 cases no numerical value of friction velocity exceeds 3.71cm/sec, while for all of the remainder sets it is equal to or more than 3.71cm/sec. Therefore, the numerical value of $u_{*1}\fallingdotseq 3.7$cm/sec can be adopted as an empirical critical value for the first formation of wind waves, according to our observations. There are three sets of $u_{*1}=3.71$cm/sec and no waves are formed for one of these three sets (No. 18), while waves are formed for the other two (No. 58, No. 347). The state of sea surface in the case of No. 58 is shown in plate.



The state of sea surface at the observation of No. 58.

Lengths of wave for these two cases at the critical friction velocity of 3.71cm/sec do not coincide with each other, i. e. they are 6.3cm and 7.2cm. Furthermore, shorter wave lengths are observed at higher friction velocity than those for the above-mentioned two cases, i. e. $L=4.5$cm for $u_{*1}=4.57$cm/sec (No. 345) and $L=5.8$cm for

$u_{*1}=4.54$cm/sec (No. 400). Therefore, it is hard to determine uniquely the critical wave length at the first formation of wind waves from just our observed data.

For the critical friction velocity of 3.7cm/sec, wind speed at several levels is calculated by equation (1) and is shown in the following table.

Wind speed calculated by (1) for $u_{*1}=3.7$cm/sec

Height (cm)	25	50	100	200	400
Wind speed (cm/sec)	80	86	93	99	105

If it is assumed that the height of the layer obeying equation (1) is 25cm and that the upper layer above 25cm obeys equation (2) of hydrodynamically rough flow with $z_0=0.6$cm, wind speed at several levels is as follows by the equations for the critical friction velocity of 3.7cm/sec.

Calculated wind speed for $u_{*1}=3.7$cm/sec, $h=25$cm, $z_0=0.6$cm

Height (cm)	25	50	100	200	400
Wind speed (cm/sec)	80	95	110	125	140

Critical wind speed for the first formation of wind waves, obtained empirically by H. Jeffreys,[10] was 110cm/sec. A comparison of this value, obtained at uncertain height, with our result can be made from a determination of the height (z_a) where $u=110$cm/sec on the basis of the critical friction velocity of 3.7cm/sec. For hydrodynamically smooth flow, we obtain $z_a=656$cm by equation (1). However, his observations were made over a small pond, where the progressive time was expected to be small. Then, assuming hydrodynamically smooth flow below $z=25$cm and hydrodynamically rough flow with $z_0=0.6$cm above the elevation, we obtain $z_a=100$cm. Therefore, a critical wind speed, as stated before, without specifying anemometer height is nonsence, though these (656cm and 100cm) are possible anemometer heights.

W. G. Van Dorn[11] obtained empirically the critical wind speed of 200cm/sec at 25cm elevation over a small pond near sea coast. Friction velocity for this case is $u_{*1}=8.5$cm/sec by equation (1). This is a remarkably higher value than the critical value obtained by the author.

The numerical values of shearing stress (τ_0) and coefficients of resistance (γ_{25}^2 at $z=25$cm, γ_{400}^2 at $z=400$cm) for the critical friction velocity of 3.7cm/sec are easily obtained, assuming $\rho\fallingdotseq 1.2\times 10^{-3}$, and the results are as follows:

$$\tau_0 = u_{*1}^2\rho = 1.64\times 10^{-2}\ \text{dyne/cm}^2$$

$$\gamma_{25}^2 = \frac{u_{*1}^2}{u_{25}^2} = 2.14\times 10^{-3}$$

$$\gamma_{400}^2 = \frac{u_{*1}^2}{u_{400}^2} = 1.24\times 10^{-3}.$$

3. Generation of Whitecaps.

Whitecaps appear in 19 cases among 156 observations. Numerical values of u_{*1} for these cases are higher than 17cm/sec, except for two cases (No. 32 and 322) with u_{*1} of 15.32cm/sec and 13.37cm/sec respectively. The latter, 13.37cm/sec, is the lowest value. However, no whitecaps appear in 6 cases (No. 60, 84, 134, 135, 138, and 188), even though u_{*1} exceeds 13.37cm/sec and one of them exceeds 15.32cm/sec (No. 135).

It is adequate from these facts to presume $u_{*1} \fallingdotseq 17$cm/sec as the empirical value of the critical friction velocity for generation of whitecaps. For this value of 17cm/sec, wind profiles are obtained as follows, by equation (1) assuming $h=400$cm, and by equations (1) and (2) assuming $h=25$cm and $z_0=0.6$cm.

Calculated wind speed for $u_{*1}=17$cm/sec

Height (cm)	25	50	100	200	400	Assumption
Wind speed (cm/sec)	431	461	490	520	549	$h=400$cm
	431	511	591	671	751	$h=25$cm, $z_0=0.6$cm

At 25cm level the critical wind speed is 431cm/sec, whereas the critical wind speed indicated by W. H. Munk[12] is 660cm/sec, where the anemometer level is not specified. Calculating the height where $u=660$cm/sec for $u_{*1}=17$cm/sec, we obtain 54.5m by equation (1) assuming $h=$anemometer height, and 182cm by equations (1) and (2) assuming $h=25$cm and $z_0=0.6$cm. The former is too high value for an anemometer height and the latter corresponds to a case of too short progressive time. Therefore, his result is inconsistent with the author's.

The numerical values of shearing stress and coefficients of resistance at $z=25$cm and 400cm for the critical friction velocity of 17cm/sec are as follows:

$$\tau_0 = 34.7 \times 10^{-2} \text{ dyne/cm}^2$$
$$\gamma_{25}^2 = 1.56 \times 10^{-3}$$
$$\gamma_{400}^2 = 0.96 \times 10^{-3}.$$

4. Friction Velocity and Wave Length and Height.

The dependency of wave length (L) and height (H) on friction velocity is examined from the respective mean values for each group, into which the observed data are classified according to individual values of u_{*1}(3.7–6, 6–9, 9–12, 12–17, and more than 17cm/sec).

The results are shown in the following table. It is seen that the mean values of wave length and height both increase with increasing friction velocity. However, the ranges of individual values for a specified group remarkably overlap on those of neighbouring groups.

Dependency of mean wave length and height on friction velocity

Range of u_{*1} (cm/sec)	Mean of u_{*1} (cm/sec)	Mean value		Range		No. of obs.
		Length (cm)	Height (cm)	Length (cm)	Height (cm)	
3.7–6	4.70	10.1	1.1	4.5–18	0.5–2	33
6–9	7.39	23.3	2.6	6.5–49	1–6	37
9–12	10.20	45.5	4.7	15–120	1–17	29
12–17	13.40	99.8	9.8	30–300	2–36	17
17–	19.23	348.8	33.2	195–530	21–55	12

Wave steepness (H/L) and wave age (C/u_{25}) are calculated from the mean values and the results are shown in the following table, where wave velocity (C) is calculated by the ratio of observed mean wave length and observed mean wave period, and u_{25} by equation (1) from the mean value of u_{*1}. It is seen that H/L and C/u_{25} are nearly constant with increasing friction velocity.

Wave steepness and wave age

Range of u_{*1} (cm/sec)	H/L	Mean observed wave period (sec)	C (cm/sec)	u_{25} (cm/sec)	C/u_{25}
3.7–6	0.11	0.32	32	104	0.31
6–9	0.11	0.42	55	172	0.32
9–12	0.10	0.55	83	245	0.34
12–17	0.10	0.91	110	331	0.33
17–	0.10	1.73	202	493	0.41

5. Conclusion.

From the simultaneous observations of wind profile and wave elements, the following facts are empirically derived:

(1) The critical friction velocity for the first formation of wind waves is 3.7cm/sec. No waves appear when friction velocity is less than this value.

(2) The critical friction velocity for generation of whitecaps is ca 17cm/sec. Whitecaps generate when friction velocity exceeds this value.

(3) Wave length and height increase generally with increasing friction velocity, though individual values are often far from this tendency.

(4) Wave steepness (H/L) and wave age (C/u_{25}) are nearly constant with increasing friction velocity as far as we concern.

It is noticed that the observing level of wind speed must be specified, when the critical values are given in wind speed itself instead of friction velocity. More than all, it is notable that the numerical values of the critical friction velocity stated above are inconsistent with other researchers' results. These facts deserve future dynamical illustrations.

Part IV Humidity Profiles over the Sea and Evaporation from its Surface

1. Humidity Profiles over the Sea.

Observed data of vapour pressure are classified into the same groups as wind data are classified in Part II. Mean profiles for each group are shown in the following table and Fig. 4.

Mean humidity profile under different conditions of stability

Stability condition (°C)	Range of t (sec)	Vapour pressure (mb) e_0	e_{25}	e_{50}	e_{100}	e_{200}	e_{400}	No. of obs.
$+0.5<T_{400}-T_0$	$t<3,000$	31.10	25.82	25.34	25.08	24.66	24.30	16
	$3,000\leq t<8,000$	27.23	22.01	21.93	21.50	21.38	21.01	8
	$8,000\leq t$	38.60	30.75	30.50	30.40	30.30	29.95	2
$-0.5\leq T_{400}-T_0\leq+0.5$	$t<600$	20.55	15.50	15.35	14.95	14.65	14.20	2
	$600\leq t<3,000$	25.67	21.18	20.62	20.27	20.22	19.82	9
	$3,000\leq t$	31.81	26.13	25.83	25.63	25.44	25.18	9
$-5.0\leq T_{400}-T_0<-0.5$	$t<60$	22.17	14.10	13.37	12.88	12.69	12.55	12
	$60\leq t<300$	22.21	14.51	13.70	13.04	12.44	12.19	14
	$300\leq t<1,500$	25.67	20.14	19.36	19.07	18.86	18.42	31
	$1,500\leq t<3,000$	29.15	23.62	23.18	22.87	22.59	22.49	33
	$3,000\leq t$	25.59	20.03	19.36	19.06	18.83	18.54	31
$-10.0\leq T_{400}-T_0<-5.0$	$t<60$	20.88	10.82	10.05	9.34	9.19	8.85	23
	$60\leq t<100$	21.91	12.07	11.59	11.26	10.84	10.63	22
	$100\leq t<300$	20.72	11.27	10.63	10.15	9.82	9.73	24
	$300\leq t$	21.65	12.49	11.82	11.18	10.83	10.66	15
$T_{400}-T_0<-10.0$	$t<60$	20.88	9.17	8.65	8.16	7.89	7.67	18
	$60\leq t$	21.21	9.78	9.31	8.93	8.63	8.40	46

Assuming that eddy diffusivity of vapour transport is equal to that of momentum transport, Montgomery[9] derived the following relations which represent the expected water vapour distribution above the sea surface; i.e.

$$-\frac{1}{e_0-e_b}\frac{de}{d\ln z}=\left(0.96+\ln\frac{u_{*1}b}{\kappa}\right)^{-1}, \qquad (4)$$

when wind profile obeys equation (1) of hydrodynamically smooth flow; and

$$-\frac{1}{e_0-e_b}\frac{de}{d\ln z}=\left[\ln\frac{b}{h}+\frac{u_{*2}}{u_{*1}}\left(0.96+\ln\frac{u_{*1}h}{\kappa}\right)\right]^{-1}, \qquad (5)$$

when wind profile above the height of h obeys equation (2) of hydrodynamically rough flow. In the preceeding equations e_b is vapour pressure (mb) at b cm upward from the sea surface, b is any standard level, and κ is kinematic coefficient of molecular diffusion of water vapour through air.

An examination of these formulae (4) and (5) is made from the present observed data. Assuming that humidity profile obeys a logarithmic law and adopting $b=400$cm,

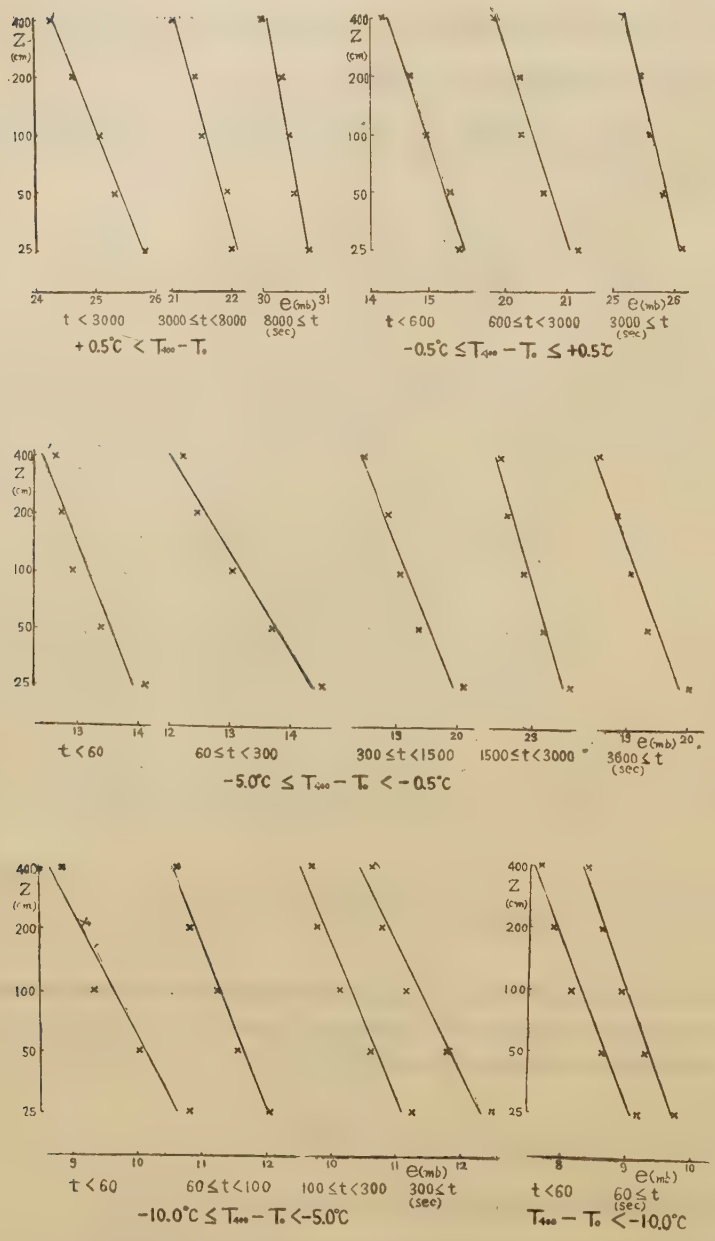


Fig. 4. Humidity profiles at different steps of progressive time under different conditions of stability. Straight lines in Inz-e diagram determined by the least square method. Observed values indicated by crosses.

we can calculate the numerical values of the left hand side of the equations by the least square method from the observed vapour pressure listed in the preceeding table. Numerical values of right hand side of them can be calculated from the results obtained in Part II. These values of both sides are listed in the following table. It is seen that the agreements of one side with the other are insufficient. This fact suggests

that the assumption, which the formulae (4) and (5) are based on, cannot be exempt from amendments, though the fact may be partly due to possible inaccuracy of humidity measurements.

Examination of the formulae (4) and (5)

Stability condition (°C)	Range of t (sec)	Left hand side	Right hand side	Formula
$+0.5<T_{400}-T_0$	$t<3,000$	0.078	0.046	(5)
	$3,000\leq t<8,000$	0.059	0.066	(5)
	$8,000\leq t$	0.029	0.102	(4)
$-0.5\leq T_{400}-T_0\leq+0.5$	$t<600$	0.074	0.037	(5)
	$600\leq t<3,000$	0.076	0.050	(5)
	$3,000\leq t$	0.049	0.099	(4)
$-5.0\leq T_{400}-T_0<-0.5$	$t<60$	0.056	0.035	(5)
	$60\leq t<300$	0.085	0.037	(5)
	$300\leq t<1,500$	0.078	0.049	(5)
	$1,500\leq t<3,000$	0.061	0.097	(4)
	$3,000\leq t$	0.071	0.096	(4)
$-10.0\leq T_{400}-T_0<-5.0$	$t<60$	0.057	0.039	(5)
	$60\leq t<100$	0.046	0.051	(5)
	$100\leq t<300$	0.051	0.048	(5)
	$300\leq t$	0.061	0.094	(4)
$T_{400}-T_0<-10.0$	$t<60$	0.041	0.056	(5)
	$60\leq t$	0.039	0.081	(5)

However, it is seen in Fig. 4 that humidity profile seems to obey a logarithmic law, except for the cases under unstable conditions, and that for unstable conditions it shows convex form against e-axis in $\ln z$-e diagram independent of progressive time. This fact suggests that two layers obeying different logarithmic laws of humidity profile may exsist and that the boundary between them will be higher than the observing height under an unknown condition.

2. Evaporation from the Sea Surface.

The observed data of evaporation for 6 hours, obtained by the method stated in Part I, are classified into four groups according to observing month (April and May; August and September; October and November; December and January), since the numbers of observations for each month are too low to find a character of annual variation of evaporation from the sea surface. Mean values for each group or season are calculated and the results are listed in the following table, which includes also the similar mean values of those from a pan on deck in the interest of comparison.

It can be considered that this table indicates the actual conditions of seasonal and diurnal variation of evaporation from the sea surface at Kagoshima Bay. The character of variation is quite different from the case of pan on deck, though the annual mean value does not differ so much.

Mean amount of 6 hour evaporation

Month	Time (from-to) (h)	Evaporation from sea surface (mm)	Evaporation from pan on deck (mm)	No. of obs.
April-May	03–09	0. 27	0. 56	5
	09–15	0. 35	0. 90	4
	15–21	0. 30	0. 44	4
	21–03	0. 29	0. 12	6
	Total	1. 21	2. 02	
Aug.-Sept.	03–09	1. 13	0. 48	3
	09–15	1. 16	3. 51	4
	15–21	0. 47	1. 64	4
	21–03	0. 79	0. 36	4
	Total	3. 55	5. 99	
Oct.-Nov.	03–09	1. 29	0. 32	4
	09–15	1. 02	1. 62	4
	15–21	1. 25	0. 56	3
	21–03	1. 46	0. 35	4
	Total	5. 02	2. 85	
Dec.-Jan.	03–09	1. 72	0. 21	6
	09–15	1. 24	1. 00	14
	15–21	1. 61	0. 40	6
	21–03	1. 62	0. 16	6
	Total	6. 19	1. 77	
Annual mean value of one day evaporation		3. 99	3. 16	

The evaporation from the sea surface is given as the product of eddy diffusivity and the vertical gradient of specific humidity. Several formulae of evaporation proposed by several researchers are all based on this point of view, since one of them was proposed by H. U. Sverdrup[13] for the first time. Montgomery[9] derived the following formulae giving evaporation (E gr/cm^{2}sec) from hydrodynamically smooth or rough sea surface, when humidity profiles are given by equations (4) and (5) respectively. He gets

$$E=\rho k_0 u_{*1} \Gamma_1 (q_0-q_b) \qquad (6)$$

on hydrodynamically smooth surface; and

$$E=\rho k_0 u_{*2} \Gamma_2 (q_0-q_b) \qquad (7)$$

on hydrodynamically rough surface, where q_0 and q_b are specific humidity at the sea surface and at b cm height respectively, and Γ_1 and Γ_2 are given by equations (4) and (5) respectively in the form of $\Gamma=-\dfrac{1}{e_0-e_b}\dfrac{de}{d\ln z}$.

It is stated in the preceeding section that the assumption, involved in the derivation of these equations, cannot be confirmed from the present observed data. If we assume these equations hold, evaporation can be determined from our observed data of wind and humidity profiles. From this point of view, evaporation for

individual instances is calculated by equation (6) from observed value of u_{*1} and q_b based both on the lowest observing level, and of Γ_1 obtained by the right hand side of equation (4). To compare this with the observed 6 hour evaporation, the individual values within a specified time interval are summed up and multiplied, if necessary, by a constant to make 6 hour evaporation. Mean values of them for every two months are listed in the following table. Agreements of these results with the observed values of evaporation, shown in the preceeding table, are not sufficient. But it should be reserved to regard this assumption inadequate, because the disagreements may be partly due to possible inaccuracy of humidity measurements.

The well-known practical formula of evaporation proposed by C. W. Thornthwaite and B. Holzman[14] can be represented by the form of

$$E=\frac{\rho k_0 u_*(q_1-q_2)}{\ln\frac{z_2}{z_1}}, \qquad (8)$$

where q_1 and q_2 are specific humidity at z_1 and $z_2$cm levels respectively. This equation holds when wind and humidity profiles obey logarithmic laws. The former condition is approximately satisfied by actual profiles, as shown in Part II; and the latter condition is approximately satisfied by actual profiles except for those under unstable condition, as shown in the preceeding section. Assuming $u_*=u_{*1}$, calculated by equation (1) from wind speed at the lowest observing level, and taking $z_1=25$ cm and $z_2=50$ cm and 400 cm, numerical values of expected evaporation for individual instances are calculated by equation (8). When the observed data of e_{25} is lacking, its numerical value is estimated by logarithmic extrapolation. Six hour evaporation, obtained by the same procedure as before, is shown in the following table. Agreements of calculated values for two cases with the observed values are both insufficient even though unstable cases are rejected.

Calculated values of 6 hour evaporation (mm)

Month	Time (from-to) (h)	Evaporation calculated by equation (6)	Evaporation calculated by equation (8) $z_1=25$cm, $z_2=50$cm	Evaporation calculated by equation (8) $z_1=25$cm, $z_2=400$cm
April-May	03–09	0.18	0.15	0.08
	09–15	0.18	0.26	0.20
	15–21	0.14	0.35	0.29
	21–03	0.13	0.07	0.13
Aug.-Sept.	03–09	0.38	0.37	0.26
	09–15	0.42	0.41	0.31
	15–21	0.60	0.48	0.37
	21–03	0.36	0.20	0.18
Oct.-Nov.	03–09	0.38	0.54	0.28
	09–15	0.45	1.49	0.81
	15–21	0.38	1.05	0.52
	21–03	0.50	0.35	0.21
Dec.-Jan.	03–09	0.70	0.35	0.26
	09–15	0.63	0.56	0.37
	15–21	0.63	0.22	0.22
	21–03	0.76	0.31	0.25

3. Conclusion.

Actual conditions of seasonal and diurnal variation of evaporation from the sea surface are indicated from direct observations taken at Kagoshima Bay. These results are compared with the expected values, calculated from observed wind and humidity profiles by Montgomery's formula and by Thornthwaite and Holzman's formula. Agreements between them are insufficient. Therefore, the problem of the way calculating the evaporation from the sea surface from wind and humidity profiles deserves further studies.

Acknowledgement

The author wishes to express his sincere thanks to Professor T. Namekawa, Director of Meteorological Research Institute, Kyoto University, for his encouragement and helpful advice. He is also indebted to Captain S. Ueda, Research Vessel Kagoshima-maru, Kagoshima University, and his crew; and to Captain K. Takahashi, Research Vessel Hayato-maru, Kagoshima University, and his crew; and to 21 college students, for their kind assistances in observations over the sea.

References

1. Kawata, S., Nishimura, K., and Omori, Y., 1952; Researches on thermocouple anemometer, Denki Hyoron (Electrical Review), 40, 2.
2. Wüst, G., 1920; Die Verdunstung auf dem Meere, Veröf. Inst. Meer., Univ. Berlin, N. F. A., 6.
3. Rossby, C. G., 1936; On the frictional force between air and water and on the occurrence of a laminar boundary layer next to the surface of the sea, Pap. Phys. Ocea. Met., 4, 3.
4. Bruch, H., 1940; Die Vertikale Verteilung von Windgeschwindigkeit und Temperatur in den untersten Metern über der Wasseroberfläche, Veröf. Inst. Meer., Univ. Berlin, N. F. A., 38.
5. Roll, H.U., 1948; Wassernahes Windprofil und Wellen auf dem Wattenmeer, Ann. d. Met., Hamburg, 1, 4/5, 139.
6. Model, F., 1942; Die Rauhigkeit der Meeresoberfläche, Gerl. Beitr. Geophys., 59, 102.
7. Deacon, E. L., 1953; Vertical profiles of mean wind in the surface layers of the atmosphere, Geophys. Mem., Met. Off., London, 91.
8. Hay, J. S., 1955; Some observations of air flow over the sea, Quart. J. R. Met. Soc., 81, 307.
9. Montgomery, R. B., 1940; Observations of vertical humidity distribution above the ocean surface and their relation to evaporation, Pap. Phys. Ocea. Met., 7, 4.
10. Jeffreys, H., 1925; On the formation of water waves by wind, Proc. Roy. Soc. London, A, 107, 189.
11. Van Dorn, W. G., 1953; Wind stress on an artificial pond, J. Mar. Res., 12, 3.
12. Munk, W. H., 1947; A critical wind speed for air-sea boundary processes, J. Mar. Res., 6, 3.
13. Sverdrup, H. U., 1936; Das maritime Verdunstungsproblem, Ann. d. Hydr. u. mar. Met., 64, 41.
14. Thornthwaite, C. W. and Holzman, B., 1939; The determination of evaporation from land and water surfaces, Monthly Weather Rev., 67, 4.

A Physical Treatment on the Accumulated Materials of the Annual Temperature Variation in Lakes and Ocean

by

Tadao TAKAHASHI

Abstract

A practical procedure based on Namekawa's theory is presented, which takes ingeniously the upward heat flux in cooling stage into consideration. The amount of annual heat exchange and annual mean eddy thermal diffusivity are calculated by this procedure from the materials of annual variation of water temperature in 17 lakes and 113 stations in the sea around Japan. Their vertical and geographical distributions are discussed.

1. Introduction

It is hard to take systematic observations of different elements in lakes or ocean, but great numbers of temperature data, which could be taken with a little effort, have been accumulated. These materials have been scarecely treated physically or climatologically.

A new idea concerning the annual variation of water temperature is manifested by T. Namekawa.[1] It is proposed by him to treat the accumulated materials by a method derived from the idea. The present study is performed in accordance with the proposal.

2. Basic Principle

T. Namekawa questioned why the vertical profile of the annual mean temperature ($\bar{\theta}$) shows always downward gradient ($-\frac{\partial\bar{\theta}}{\partial z}>0$, z positive downwards) in the upper layer of lakes and ocean, notwithstanding the isothermal vertical profile ($\frac{\partial\bar{\theta}}{\partial z}=0$) is established for underground temperature on land. Adopting the well-known eddy equation of $\frac{\partial\theta}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial z}\left(k\frac{\partial\theta}{\partial z}\right)$, where k is eddy thermal diffusivity, to annual mean temperature ($\bar{\theta}$), we have $\frac{\partial}{\partial z}\left(k\frac{\partial\bar{\theta}}{\partial z}\right)=0$ or $k\frac{\partial\bar{\theta}}{\partial z}=C$ (independent of z), since $\frac{\partial\bar{\theta}}{\partial t}=0$. Moreover, annual total flux of heat through the surface of lakes or ocean must be zero; otherwise the water temperature undergoes unidirectional change, which has no physical reality. In fact, this condition of $k\frac{\partial\bar{\theta}}{\partial z}=0$ or $C=0$ is satisfied by observed annual mean underground temperature which shows $\bar{\theta}=$const. (independent of z). However, the actual annual mean water temperature does not show $k\frac{\partial\bar{\theta}}{\partial z}=0$, which is the first point in question. Furthermore, even if we allow $C\neq 0$ in $k\frac{\partial\bar{\theta}}{\partial z}=C$

(independent of z), we meet a following serious contradiction. Since the actual profile shows $\frac{\partial\bar{\theta}}{\partial z}\to 0$ in deep layer of lakes or ocean, $k\to\infty$ in such a deep layer where any vigorous stirring cannot be expected.

These paradoxes may be settled by taking into account another kind of heat transfer, existing only during the cooling stage, not included in the expression of $k\frac{\partial\theta}{\partial z}$. Acting surface of the cooling process during the cooling stage is the water surface itself. Accordingly, in the first step a temporary upward gradient $(-\frac{\partial\theta}{\partial z}<0)$ appears in the surface layer. This state, however, shows statical instability at any temperature higher than that of maximum density, whence the overturn or mixing up happens immediately to make an isothermal layer $(-\frac{\partial\theta}{\partial z}=0)$ within the water column in question. Thus the isothermal layer developes from the surface to deeper layer when the cooling proceeds, as shown by the actual observed temperature profile during cooling stage. In this process, we must not miss the existence of upward heat flux caused by the temporary mixing process, maintaining the condition of $-\frac{\partial\theta}{\partial z}=0$ which indicates no flux of heat. In fact, notwithstanding the surface value of $-\frac{\partial\theta}{\partial z}$ throughout the cooling stage is zero $(-\frac{\partial\theta}{\partial z}\Big|_{z=0}=0)$, which indicates no eddy transfer of heat, the observed fact shows that the heat contents within the lakes or ocean decrease as the cooling stage proceeds. On the other hand, through the warming stage the surface value of $-\frac{\partial\theta}{\partial z}$ is positive, showing the prevalence of the downward heat which causes the increase of the heat contents within the whole water column. Thus the maximum heat contents (q_{max}) appears at the epoch when $-\frac{\partial\theta}{\partial z}>0\to-\frac{\partial\theta}{\partial z}=0$ and by the same reason, q_{min} appears when $-\frac{\partial\theta}{\partial z}=0\to-\frac{\partial\theta}{\partial z}>0$. The value of $q_{max}-q_{min}$ can be obtained from the observational data of water temperature at these epochs, by the aid of $q_{max}-q_{min}=\left[\int_0^\infty c\rho\theta dz\right]_{max}-\left[\int_0^\infty c\rho\theta dz\right]_{min}$ assuming $c\rho\fallingdotseq 1$, where c is specific heat of water, and ρ density. This value($q_{max}-q_{min}$) must be equal to the total amount of upward heat flux under the condition of $-\frac{\partial\theta}{\partial z}\Big|_{z=0}=0$ during the cooling stage. On the other hand, the total amount of the apparent downward heat flux due to eddy conduction all the year round is equal to $-k\frac{\partial\bar{\theta}}{\partial z}\Big|_{z=0}\cdot T$, where k is annual mean eddy thermal diffusivity or eddy conductivity in kinematic form, and T=a year $=365\frac{1}{4}\times 24\times 60\times 60$ (sec). If we consider that this apparent downward heat flux is compensated by the upward flux due to the mixing process, the complete heat balance can be established and the question is settled; i. e.

$$-k\left.\frac{\partial\bar{\theta}}{\partial z}\right|_{z=0}\cdot T=q_{max}-q_{min}. \qquad (1)$$

The relation gives a way for calculating the surface value of the annual mean eddy thermal diffusivity ($k_{z=0}$) from the observed temperature profile within lakes or ocean.

It is clear that the above relation can hold not only at the water surface but also at any depth within the water column, accordingly we have a general working formula of

$$k_z=\frac{q_{max}-q_{min}}{\left.\frac{\partial\bar{\theta}}{\partial z}\right|_{z}\cdot T}, \qquad (2)$$

where $$q_{max}-q_{min}=\left[\int_z^\infty c\rho\theta dz\right]_{max}-\left[\int_z^\infty c\rho\theta dz\right]_{min},$$

and k_z is annual mean eddy thermal diffusivity at any depth z.

3. Materials and the Procedure of Treatment

In many Japanese lakes some fragmental observations were taken by individual observers, though systematic observations were carried out in Lake Biwa[2] (1936–1941, 1947–1955) and Lake Sai[3] (1936–1947). We get among them the data for 10 lakes[4] which can be used for our immediate purpose and add the data for 7 European lakes from several publications.[5] The surface minimum temperature of these selected lakes is not below 4°C. The observing depths in each lake are not all the same one another, but observations at 0, 10, 20, 40, and 100 meters in depth are taken in many lakes.

In the sea around Japanese Islands, the regular observations (once or twice a month) have been continued at many localities for many years. Adding some data taken from the reports of some fragmental observations to give the geographical distribution of the behavior of annual variation of water temperature, the author preferes the data for 113 stations[6] in the sea around Japanese Islands.

The procedure of treatment is shown by the following examples. The data of the systematic observations in Lake Biwa is employed as the first example. The basic data which give the normal behavior of the annual variation of water temperature in Lake Biwa is derived from 15 year observations by taking the mean values of observed monthly temperature for consecutive years. The results are shown in Tabe 1 and Fig. 1. By the aid of Fig. 1, we can calculate the value of $q=\int_z^\infty \theta dz$ for every month and every depth. Then, we can find the epochs of the maximum and minimum of q and the amount of the annual heat exchang, $Q(=q_{max}-q_{min})$, for each depth. These values are listed in Table 2.

Table 1.

Monthly mean temperature in Lake Biwa (°C) (1936–1941, 1947–1955)

Depth(m)	Jan.	Feb.	March	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Mean
0	8.37	7.13	7.69	9.82	15.45	20.90	24.89	28.35	24.84	19.87	15.50	11.70	16.21
5	8.35	7.14	7.07	8.80	13.69	19.16	23.61	27.06	24.40	19.51	15.45	11.65	15.49
10	8.31	7.09	7.02	8.55	12.22	17.25	19.92	22.65	24.06	19.53	15.36	11.64	14.47
15	8.34	7.10	7.00	8.36	11.03	13.70	16.02	17.32	19.20	19.22	15.39	11.69	12.86
20	8.34	7.07	6.94	8.12	9.72	11.28	12.34	13.03	14.28	15.71	15.32	11.65	11.15
30	8.32	7.09	6.93	7.78	8.38	9.27	9.62	9.88	9.65	10.00	10.84	11.56	9.11
40	8.31	7.03	6.90	7.55	7.82	8.34	8.50	8.31	8.51	8.35	8.53	9.46	8.13
50	8.08	7.03	6.89	7.31	7.40	7.87	7.95	7.89	7.84	7.75	7.94	8.26	7.68
60	7.92	7.07	6.88	7.23	7.20	7.41	7.56	7.44	7.54	7.43	7.60	7.93	7.43
70	7.66	7.06	6.83	6.99	7.05	7.32	7.39	7.21	7.29	7.22	7.40	7.71	7.26

Table 2.

The amount of annual heat exchange in Lake Biwa

Depth (m)	Time of q_{max}	Time of q_{min}	Q (10^3 cal.)
0	Sept.	March	39.0
5	Sept.	March	30.3
10	Sept.	March	21.8
15	Nov.	March	15.6
20	Dec.	March	12.2
30	Dec.	March	7.5
40	Dec.	March	3.9
50	Dec.	March	2.2
60	Dec.	March	1.0

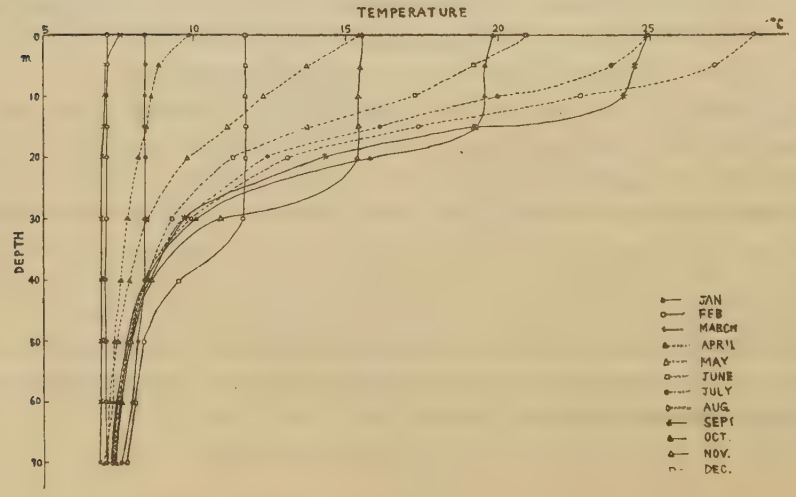


Fig. 1. Monthly temperature profiles in Lake Biwa.

The annual mean eddy thermal diffusivity at a specified depth (k_z) can be found by the basic equation (2) when we know the value of $-\frac{\partial\bar{\theta}}{\partial z}$ at the depth. However, the accurate determination of $-\frac{\partial\bar{\theta}}{\partial z}$ is difficult from our basic data. The determination of a tangent on the temperature profile curve involves individual ambiguities in drawing the curve passing the observed values, because the distances between the successive observing depths are not sufficiently small. For the same reason, the approximation putting $\frac{\partial\bar{\theta}}{\partial z} \fallingdotseq \frac{\Delta\bar{\theta}}{\Delta z}$ causes erroneous results, where $\Delta\bar{\theta}$ is annual mean temperature difference between the distance of Δz.

Avoiding the difficulty, a practical procedure of treatment proposed by the author is as follows. Divide the whole water column into several standard layers which are assumed to have the constant eddy thermal diffusivity (k) within the specified layer. The standard layers are conveniently selected as 0–10, 10–20, 20–40, 40–100, and below 100m, which are bounded by the observing levels of temperature for almost all the lakes. Then we have from equation (2) for a specified standard layer ($z_1 \sim z_2$)

$$kT\Delta\bar{\theta} = \int_{z_1}^{z_2} Q(z)\, dz,$$

where $\Delta\bar{\theta}(\equiv \bar{\theta}_{z_1} - \bar{\theta}_{z_2})$ is the difference of annual mean water temperature at the depths z_1 and z_2 which are known directly from the basic data. A practical procedure for evaluation of $\int_{z_1}^{z_2} Q(z)dz$, proposed by the author is as follows.

If there exist some observing levels within a specified layer, divide it by the observing levels. And assuming that Q_i is constant within the subdivided layer (Δz_i) and equal to the average of those at the top and the bottom of Δz_i, we have

$$\int_{z_1}^{z_2} Q(z)dz \fallingdotseq \sum_i Q_i \Delta z_i,$$

then

$$kT\Delta\bar{\theta} \fallingdotseq \sum_i Q_i \Delta z_i. \qquad (3)$$

The detailes of the actual calculation by this method can be understood by an example for the standard layer of 0–10m at Lake Biwa shown in Table 3, and the values of eddy thermal diffusivity for Lake Biwa found by this method are listed in Table 4.

Lake Ikeda is picked up, as the second example, to illustrate the procedure of treatment of the data of fragmental observations. In this example, no observation was taken in April, June, and September. Now we are obliged to fill the lacking portions by an interpolative method. The author finds the interpolated values on the annual variation curves by the graphical manner and the results are given in Table 5. From these values of temperature, the amount of the annual heat exchange and the annual mean eddy thermal diffusivity are found by the similar procedure to the previous example. They are shown in Tables 6 and 7 respectively. The values of k in deeper layers are more or less unreliable.

There are only the observations at the upper and the lower boundaries of the

standard layer of 10–20m in Lake Ikeda or $i=1$. In such a case the value of k may be somewhat unreliable. A criterion of the reliability may be given by the following comparison. Using only the data at 0, 10, 20, 40, and 70 meter levels in Lake Biwa, i. e. assuming that i is unity within each standard layer, the amount of annual heat exchange and the annual mean eddy thermal diffusivity are calculated. The results are shown in Table 8. Comparing these results with those, shown in Tables 2–4, obtained from the detailed data, we see that differences of k values in each corresponding standard layer are 0.03, 0.01, 0.02, and 0.06 respectively.

Table 3.

Calculation of the annual mean eddy thermal diffusivity in 0–10m layer in Lake Biwa

Depth (m)	Q (10^3 cal.)	Q_i (cal.)	Δz_i (cm)	$Q_i\ \Delta z_i$	$\Sigma\ Q_i\ \Delta z_i$	$\Delta\bar{\theta}$ (°C)	k ($cm^2 sec^{-1}$)
0	39.0						
		0.347×10^5	5×10^2	1.735×10^7			
5	30.3				3.040×10^7	1.74	0.55
		0.261 〃	5 〃	1.305 〃			
10	21.8						

Table 4

Calculation of the annual mean eddy thermal diffusivity in standard layers in Lake Biwa

Layer (m)	$\Sigma\ Q_i\ \Delta z_i$	$\Delta\bar{\theta}$ (°C)	k ($cm^2\ sec^{-1}$)
0–10	3.040×10^7	1.74	0.55
10–20	1.630 〃	3.32	0.16
20–40	1.560 〃	3.02	0.16
40–70	0.520 〃	0.87	0.19

Table 5

Monthly mean temperature in Lake Ikeda (°C)

Depth (m)	Jan.	Feb.	March	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Mean
0	13.6	11.0	12.8	(16.3)	19.9	(23.5)	26.6	30.4	(28.6)	24.6	22.3	16.0	20.5
5	13.2	11.0	12.7	(16.1)	19.6	(22.8)	25.6	29.8	(28.1)	24.5	21.0	15.7	20.0
10	13.1	11.0	12.6	(15.8)	19.0	(22.0)	24.6	26.0	(26.6)	24.4	20.5	15.7	19.3
20	13.1	10.9	12.3	(13.4)	14.1	(13.7)	13.4	15.6	(16.6)	17.5	20.2	15.5	14.7
30	12.9	10.8	12.1	(12.2)	12.3	(11.9)	11.5	12.2	(12.3)	12.4	12.5	12.8	12.2
40	11.9	10.8	11.8	(11.8)	11.7	(11.4)	11.2	11.2	(11.4)	11.5	11.5	11.0	11.4
50	11.4	10.7	11.5	(11.6)	11.7	(11.3)	10.8	11.0	(11.1)	11.1	11.3	(11.3)	11.2
75	11.1	10.5	10.9	(10.8)	(10.7)	(10.7)	10.6	(10.6)	(10.7)	(10.8)	(10.9)	(11.0)	10.8
100	10.9	10.5	10.8	(10.7)	(10.6)	(10.5)	10.5	10.6	(10.6)	(10.6)	(10.7)	(10.8)	10.7
200	10.6	10.5	10.6	(10.6)	(10.5)	(10.5)	10.5	10.5	(10.5)	(10.5)	(10.5)	(10.6)	10.5

Note: Values in parentheses are interpolated.

Table 6

The amount of annual heat exchange in Lake Ikeda

Depth (m)	Time of q_{max}	Time of q_{min}	Q (10^3 cal.)
0	Sept.	Feb.	33.8
5	Sept.	Feb.	25.1
10	Nov.	Feb.	19.8
20	Nov.	Feb.	10.5
30	Jan.	Feb.	6.8
40	Jan.	Feb.	5.2
50	Jan.	Feb.	4.4
75	Jan.	Feb.	2.9
100	Jan.	Feb.	1.7

Table 7.

Calculation of the annual mean eddy thermal diffusivity in standard layers in Lake Ikeda

Layer (m)	$\Sigma Q_i \Delta z_i$	$\Delta\bar{\theta}$ (°C)	k (cm^2 sec^{-1})
0–10	2.600×10^7	1.2	0.69
10–20	1.520 〃	4.6	0.10
20–40	1.510 〃	3.3	0.15
40–100	1.980 〃	0.7	0.90*
100–200	0.900 〃	0.2	1.43*

* Unreliable

Table 8

The amount of annual heat exchange and the annual mean eddy thermal diffusivity calculated from observations at 0, 10, 20, 40, and 70m depths in Lake Biwa

Depth (m)	$\bar{\theta}$ (°C)	Time of q_{max}	Time of q_{min}	Q (10^3 cal.)	$\Sigma Q_i \Delta z_i$	$\Delta\bar{\theta}$ (°C)	k (cm^2 sec^{-1})
0	16.21	Sept.	March	40.6			
10	14.47	Sept.	March	23.4	3.200×10^7	1.74	0.58
20	11.15	Nov.	March	13.1	1.830 〃	3.32	0.17
40	8.13	Dec.	March	4.5	1.760 〃	3.02	0.18
70	7.26	—	—	—	0.690 〃	0.87	0.25

Even imperfect observed materials must be utilized for the climatological study of this subject. The general discussion of the degrees of reliability of such imperfect data is not easy. However, the following examples give some informations in this respect.

If the data of every three months are available, we proceed as follows. Calculate the average of the four observed values and assume it as the annual mean temperature ($\bar{\theta}$). Draw the vertical temperature profile for each observation, and find the value of q at each observing level for each observing epoch. Refering that q_{max} appears in early autumn and q_{min} in early spring and the former is delayed with depth, complete the annual variation curves of q with interpolative principle, then we can find the amount of annual heat exchange (Q) by the aid of these estimated annual curves. Picking up the data of February, May, August, and November at 0, 10, 20, 40, and 70 meter depths among the detailed data of Lake Biwa, the reliability of the estimation of k is examined. The results are shown in Table 9 and we see the appearance of errors of -0.12, $+0.02$, -0.02, and -0.02 in each standard layer respectively.

When we are obliged to use the data of twice a year, one at the nearly warmest month and the other at the nearly coldest month, we can find no other way to assume that the mean of these two observations gives the annual mean state and that the state of the nearly warmest and the nearly coldest months represent the state at the maximum and the minimum amounts of heat contents respectively. The very rough

method of estimation of k above-mentioned is examined as follows. The materials are taken up again from the data of Lake Biwa, and assuming that the amounts of heat contents in August and February are given for the nearly warmest and the nearly coldest months respectively, the calculated values of k show the errors of −0.24, −0.08, −0.04, and −0.06 in each standard layer respectively (see Table 10). The errors amount to about 4/10 of accurate values of k. Thus, the roughly calculated values of k cannot be reliable in quantitative sense, however, we can trust the order of the values and the qualitative characters of the vertical distribution of k.

Table 9

The amount of annual heat exchange and the annual mean eddy thermal diffusivity calculated from observational data in February, May, August, and November at 0, 10, 20, 40, and 70m depths in Lake Biwa

Depth (m)	$\bar{\theta}$ (°C)	Time of q_{max}	Time of q_{min}	Q (10^3 cal.)	$\Sigma Q_i \Delta z_i$	$\Delta\bar{\theta}$ (°C)	k ($cm^2\ sec^{-1}$)
0	16.61	Sept.	March	40.3			
10	14.33	Oct.	March	22.0	3.120×10^7	2.28	0.43
20	11.29	Nov.	March	12.6	1.730 〃	3.04	0.18
40	7.92	Dec.	March	2.6	1.520 〃	3.37	0.14
70	7.18	—	—	—	0.390 〃	0.74	0.17

Table 10

The amount of annual heat exchange and the annual mean eddy thermal diffusivity calculated from observed data in February and August in Lake Biwa

Depth (m)	$\bar{\theta}$ (°C)	Time of q_{max}	Time of q_{min}	Q (10^3 cal.)	$\Sigma Q_i \Delta z_i$	$\Delta\bar{\theta}$ (°C)	k ($cm^2\ sec^{-1}$)
0	17.74	Aug.	Feb.	37.7			
5	17.10	Aug.	Feb.	27.3	2.765×10^7	2.87	0.31
10	14.87	Aug.	Feb.	18.2			
15	12.21	Aug.	Feb.	11.7	1.240 〃	4.82	0.08
20	10.05	Aug.	Feb.	7.8			
30	8.49	Aug.	Feb.	3.8	0.870 〃	2.38	0.12
40	7.67	Aug.	Feb.	1.9			
50	7.46	Aug.	Feb.	0.9	0.220 〃	0.53	0.13
60	7.26	Aug.	Feb.	0.3			
70	7.14	—	—	—			

The standard layers for the ocean are conveniently selected as 0–25, 25–50, 50–100, and 100–200m, which are bounded by the observing levels of temperature for almost all the stations.

4. Amount of Annual Exchange of Heat and Annual Mean Eddy Thermal Diffusivity for Lakes

The numerical values of Q and k for 17 lakes are calculated by the above-mentioned procedure and are listed in Table 11.

The amounts of annual heat exchange at surface (Q_0) come within 11.3–46.0 (10^3 cal) with the mean value of 31.1 (10^3 cal). These amounts roughly increase with increasing latitude and the relation can be represented by the regression equations, if we separate the Japanese lakes and European,

$$Q_0 = 2.74\varphi - 62.1 \quad (10^3 \text{ cal}) \quad \text{for Japanese lakes}$$

and

$$Q_0 = 1.15\varphi - 20.7 \quad (10^3 \text{ cal}) \quad \text{for European lakes,}$$

where φ is latitude in degree (see Fig. 2).

It can be shown that a lake makes a better thermal reservoir than land area. The nearest land area with available earth-temperature data[7] is selected in comparison for each lake and the amount of annual heat exchange is calculated in the similar way to that of lakes. The results listed in Table 12 show that $Q = 1.3 - 2.3$ (10^3 cal) and the mean value is 1.8×10^3 cal which is 1/17 of that of lakes (31.1×10^3 cal).

It can be also shown that a qualitative fact in limnology, i. e. $Q(z)$ damps with depth, may be roughly represented by

$$Q(z) = Q_0 e^{-\alpha z}$$

from the values listed in Table 11 and the numerical values of damping coefficient (α) and the appropriateness of the expression are shown in Table 13 and Fig. 3.

The numerical values of eddy thermal diffusivity (k) for almost all the lakes are less than 1.0 (c. g. s.), while some exceptions are found for 0–10m layer in Lake Motosu, for 10–25m layer in Lake Brienz, and for somewhat unreasonable values of the deepest layer (below 100m) in four lakes.

Table 11

The amount of annual heat exchange and the annual mean eddy thermal diffusivity in lakes

Station	Depth (m)	$\bar{\theta}$ (°C)	Time of q_{max}	Time of q_{min}	Q (10^3 cal)	$\Delta\bar{\theta}$ (°C)	k (cm^2 sec^{-1})	Remark
Kagami-ike	0	20.4	Aug.	Feb.	23.0	1.4	0.20	c
31°–12′N	5	19.0	Aug.	Feb.	11.7	4.2	0.03	
130°–36′E	10	14.8	Aug.	Feb.	4.8	1.5	0.02	
Max. Depth 15m	14	13.3	—	—	—			
Unagi - ike	0	18.6	Aug.	Feb.	25.4	4.1	0.13	c
31°–13′N	10	14.5	Jan.	Feb.	10.6	3.8	0.07	
130°–37′E	20	10.7	Jan.	Feb.	6.6	1.4	0.17	
Max. Depth 57m	55	9.3	—	—	—			
	0	20.5	Sept.	Feb.	33.8	1.2	0.69	b
Lake Ikeda	10	19.3	Nov.	Feb.	19.8	4.6	0.10	
31°–15′N	20	14.7	Nov.	Feb.	10.5	3.3	0.15	
130°–34′E	40	11.4	Jan.	Feb.	5.2	0.7	0.90*	
Max. Depth 233m	100	10.7	Jan.	Feb.	1.7	0.2	1.43*	
	200	10.5	—	—	—			

Table 11 (Continued)

Station	Depth (m)	$\bar{\theta}$ (°C)	Time of q_{max}	Time of q_{min}	Q (10^3 cal)	$\Delta\bar{\theta}$ (°C)	k ($cm^2\ sec^{-1}$)	Remark
Sumiyoshi-ike	0	19.1	July	Feb.	11.3	5.7	0.02	c
31°-46′N	5	13.4	Dec.	Feb.	4.2	3.3	0.02	
130°-36′E	10	10.1	Jan.	Feb.	2.2	0.9	0.03	
Max. Depth 31m	15	9.2	Jan.	Feb.	1.0	0.3	0.05	
	30	8.9	—	—	—			
Mi-ike	0	19.2	Aug.	Feb.	22.2	4.8	0.09	d
31°-53′N	10	14.4	Aug.	Feb.	6.1	4.3	0.03	
130°-58′E	20	10.1	Aug.	Feb.	1.5	0.9	0.06	
Max. Depth 91m	40	9.2	Aug.	Feb.	0.3	0.2	0.07	
	90	9.0	—	—	—			
Reservoir	0	16.45	Aug.	Feb.	34.9	1.41	0.33	a
Karasubara	5	15.04	Sept.	Feb.	24.0	2.34	0.14	
34°-40′N	10	12.70	Oct.	Feb.	16.1	1.69	0.12	
135°-10′E	15	11.01	Oct.	Feb.	9.6	4.15	0.03	
Max. Depth 26m	25	6.86	—	—	—			
Lake Biwa	0	16.21	Sept.	March	39.0	1.74	0.55	a
35°-19′N	10	14.47	Sept.	March	21.8	3.32	0.16	
136°-08′E	20	11.15	Dec.	March	12.2	3.02	0.16	
Max. Depth 96m	40	8.13	Dec.	March	3.9	0.87	0.19	
	70	7.26	—	—	—			
Lake Motosu	0	14.5	Aug.	Feb.	37.5	0.5	1.79	d
35°-27′N	10	14.0	Aug.	Feb.	19.0	6.1	0.07	
138°-36′E	20	7.9	Aug.	Feb.	7.5	2.3	0.11	
Max. Depth 126m	40	5.6	Aug.	Feb.	1.7	0.7	0.08	
	100	4.9	—	—	—			
Lake Sai	0	13.83	Aug.	Feb.	34.8	2.21	0.38	a
35°-29′N	10	11.62	Oct.	Feb.	18.9	4.36	0.10	
138°-42′E	20	7.26	Nov.	Feb.	9.5	2.07	0.18	
Max. Depth 75m	40	5.19	Dec.	Feb.	3.5	0.20	0.82*	
	70	4.99	—	—	—			
	0	12.0	Aug.	Feb.	44.1	1.8	0.63	a
Lake Tazawa	10	10.2	Sept.	Feb.	27.7	3.1	0.23	
39°-43′N	20	7.1	Oct.	Feb.	16.8	2.0	0.39	
140°-40′E	40	5.1	Oct.	Feb.	6.5	1.0	0.78	
Max. Depth 425m	100	4.1	Nov.	Feb.	1.7	0.1	2.53*	
	200	4.0	—	—	—			
Lake Albano	0	15.2	Oct.	March	25.4	0.9	0.73	c
(Lago di Albano)	10	14.3	Nov.	March	15.8	2.9	0.14	
41°-44′N	20	11.4	Dec.	March	9.2	2.5	0.13	
12°-40′E	40	8.9	Dec.	March	2.4	0.7	0.18	
Max. Depth 170m	100	8.2	—	—	—			

Table 11 (Continued)

Station	Depth (m)	$\bar{\theta}$ (°C)	Time of q_{max}	Time of q_{min}	Q (10^3 cal)	$\Delta\bar{\theta}$ (°C)	k ($cm^2\ sec^{-1}$)	Remark
Lake Como	0	12.5	Aug.	Jan.	35.7	1.5	0.61	b
(Lago di Como)	10	11.0	Sept.	Jan.	22.0	1.0	0.55	
46°-00′N	20	10.0	Nov.	Jan.	12.8	1.6	0.42	
9°-15′E	40	8.4	Dec.	Jan.	7.3	1.4	0.49	
Max. Depth 414m	100	7.0	—	—	—			
Lake Lugano	0	13.9	Aug.	Feb.	26.8	3.6	0.18	d
(Luganersee)	10	10.3	Sept.	Feb.	12.9	3.8	0.08	
46°-00′N	20	6.5	Sept.	Feb.	7.3	0.6	0.33	
9°-00′E	30	5.9	Sept.	Feb.	5.0	0.6	0.44	
Max. Depth 288m	70	5.3	—	—	—			
Lake Geneva	0	11.6	Sept.	Jan.	46.0	1.5	0.83	a
(Lac Léman)	10	10.1	Sept.	Jan.	33.0	1.5	0.60	
46°-25′N	20	8.6	Oct.	Jan.	23.9	1.9	0.60	
6°-30′E	40	6.7	Nov.	Jan.	13.0	1.5	0.94	
Max. Depth 310m	100	5.2	Dec.	Jan.	3.2	0.4	2.53*	
	300	4.8	—	—	—			
Lake Brienz	0	10.5	Aug.	Jan.	32.0	2.9	0.29	a
(Brienzersee)	10	7.6	Sept.	Jan.	21.3	0.7	1.17	
46°-43′N	25	6.9	Sept.	Jan.	13.4	1.2	0.59	
7°-55′E	50	5.7	Dec.	Jan.	5.6	0.9	0.43	
Max. Depth 259m	100	4.8	—	—	—			
Lake Lucerne	0	12.1	Sept.	Jan.	26.8	2.8	0.22	c
(Vielwaldstättersee)	10	9.3	Oct.	Jan.	14.8	1.5	0.23	
46°-58′N	20	7.8	Nov.	Jan.	7.8	2.0	0.14	
8°-30′E	40	5.8	Nov.	Jan.	1.9	0.8	0.23	
Max. Depth 214m	100	5.0	—	—	—			
Lake Constance	0	11.52	Sept.	March	30.3	1.93	0.41	a
(Bodensee)	10	9.59	Oct.	March	19.9	2.35	0.21	
47°-35′N	20	7.24	Nov.	March	10.5	2.17	0.27	
9°-30′E	50	5.07	Dec.	March	3.2	0.53	0.25	
Max .Depth 252m	100	4.54	Jan.	March	1.9	0.17	2.21*	
	250	4.37	—	—	—			
Mean of Q_0					31.1			

* unreliable,
a complete material,
b inclusive of interpolated temperature data,
c amount of annual heat exchange is obtained by graphical estimation,
d observations taken in the nearly warmest and coldest months.

Table 12
The amount of annual heat exchange at soil surface

Locality	Lat. (N)	Long.(E)	Time of q_{max}	Time of q_{min}	Q_0 (10^3 cal)
Kagoshima	31°34′	130°33′	Sept.	Feb.	1.3
Miyazaki	31 55	131 26	Aug.	Feb.	1.7
Kōbe	34 41	135 11	Aug.	Feb.	2.1
Hikone	35 16	136 15	Aug.	Feb.	2.2
Kōhu	35 38	138 34	Sept.	Feb.	1.7
Akita	39 43	140 06	Aug.	March	2.3
Suttsu	42 48	140 13	Sept.	March	1.8
Obihiro	42 55	143 12	Aug.	Feb.	1.6
Ōdomari	46 39	142 46	Sept.	Feb.	1.7
Ochiai	47 20	142 47	Sept.	March	1.5
Mean					1.8

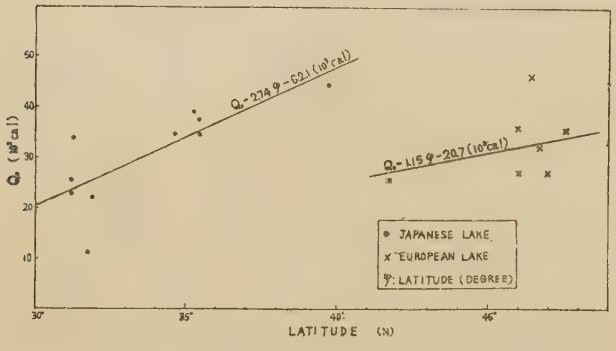


Fig. 2. Latitudinal change of the amount of annual heat exchange at lake surface.

Table 13
The numerical value of the damping coefficient (α)

Lake	α
Kagami-ike	1.458×10^{-3}
Unagi-ike	0.774 〃
Lake Ikeda	0.469 〃
Sumiyoshi-ike	1.744 〃
Mi-ike	1.234 〃
Reservoir Karasubara	0.794 〃
Lake Biwa	0.574 〃
Lake Motosu	0.753 〃
Lake Sai	0.599 〃
Lake Tazawa	0.436 〃
Lake Albano	0.525 〃
Lake Como	0.465 〃
Lake Lugano	0.647 〃
Lake Geneva	0.310 〃
Lake Brienz	0.368 〃
Lake Lucerne	0.623 〃
Lake Constance	0.419 〃

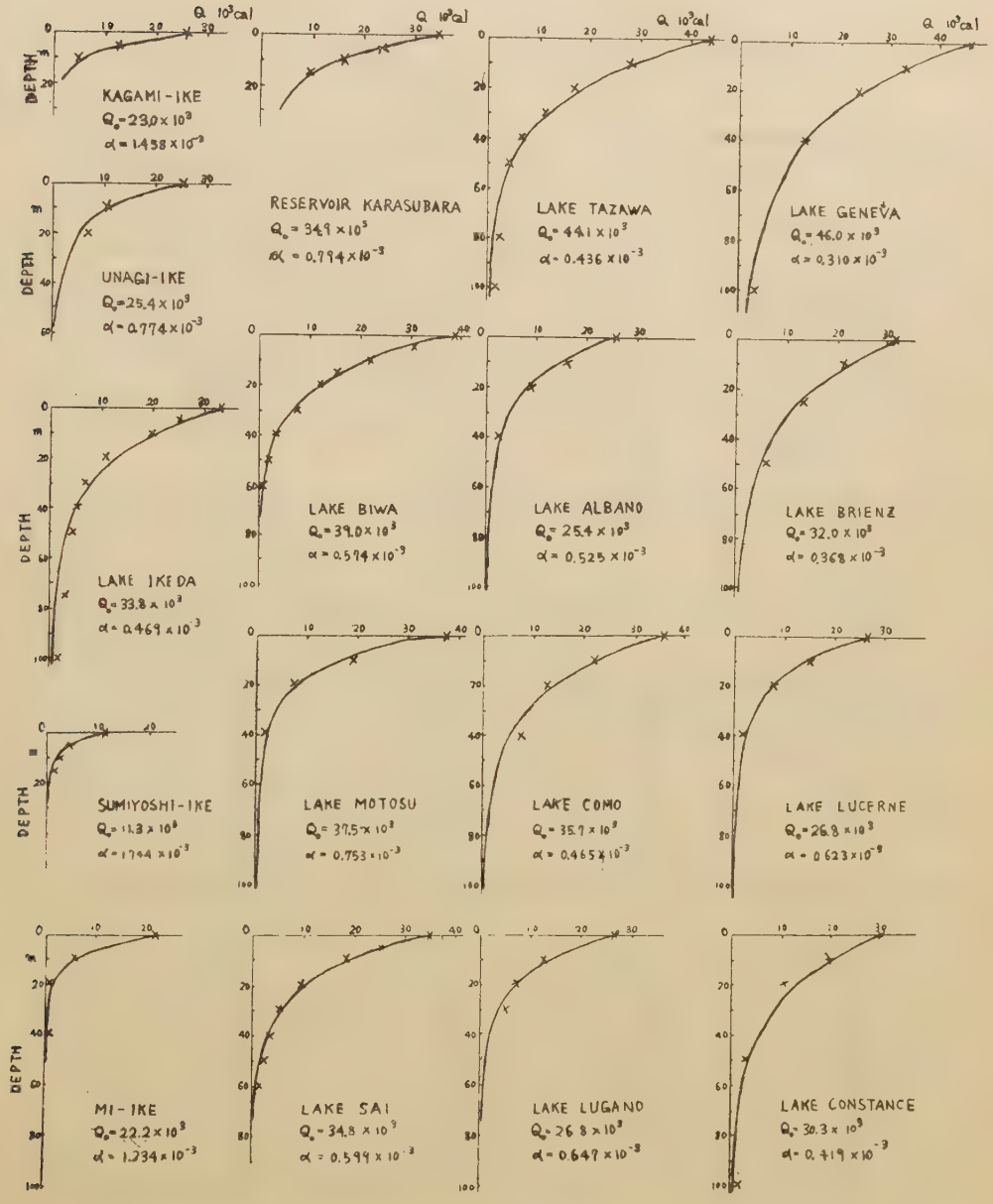


Fig. 3. Exponential decrease of the amount of annual heat exchange at a specified depth with increasing depth ($Q_0e^{-\alpha z}$: curve). Observed values indicated by crosses.

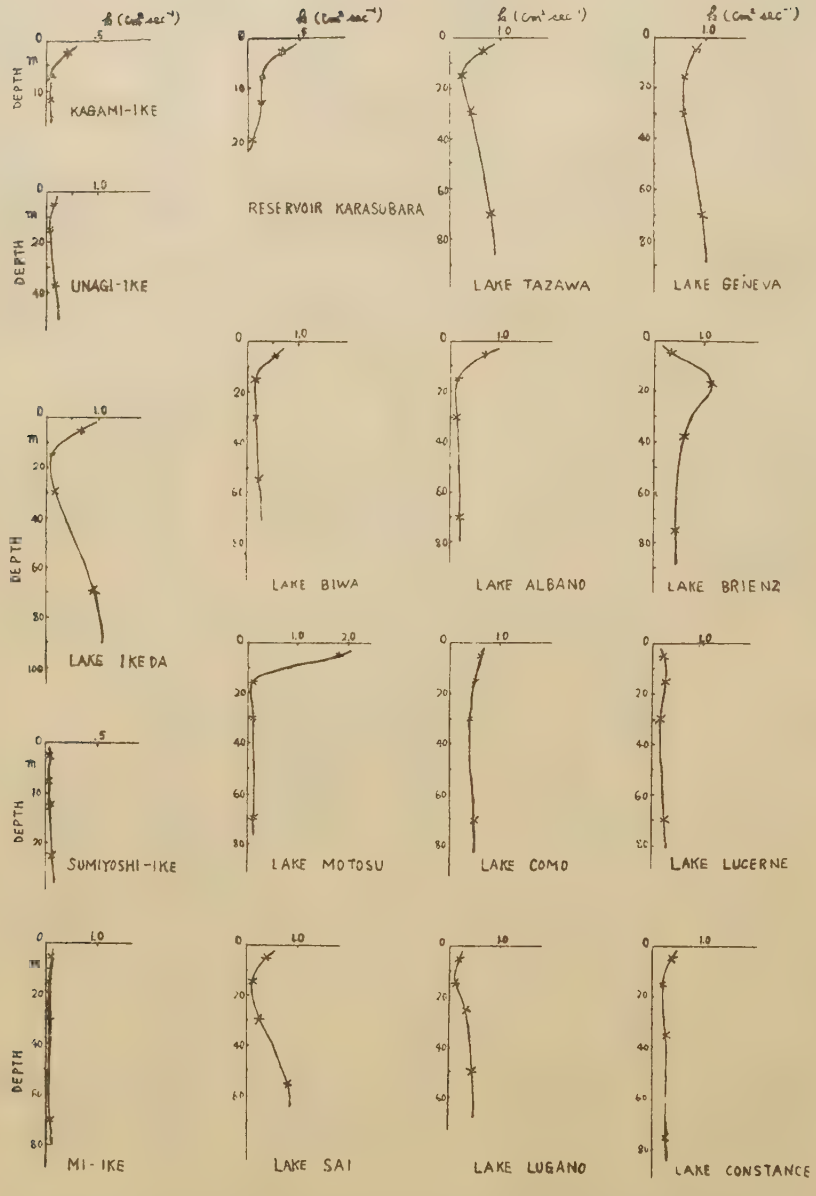


Fig. 4. Vertical profiles of annual mean eddy thermal diffusivity in lakes.

Generally speaking, the vertical variation of k within the lakes is insensible, or k is nearly constant with depth, except for the surface layer showing the high values of k which is commonly considered as the wind effect over the lake area (see Fig. 4).

It must be added that this method fails for the tropical lakes where the range of the annual temperature variation almost vanishes.[8)]

5. Amount of Annual Exchange of Heat and Annual Mean Eddy Thermal Diffusivity for Ocean

The amounts of annual heat exchange at surface (Q_0) for ocean, listed in Table 14, come within 31.3–220.5 (10^3 cal) excepting the one lowest value of 9.2 (10^3 cal). The mean value of 101.2 (10^3 cal) roughly corresponds to three times of that for lakes (31.1×10^3 cal).

The vertical profiles of Q for ocean are drawn from the values listed in Table 14, and it can be found that those have the similar characters as those for lakes, however somewhat lesser appropriateness appears in the exponential damping law or $Q(z) = Q_0 e^{-\alpha z}$.

Numerical values of k for ocean listed in Table 14 take 0.1–29.9 (c.g.s.), which are higher than those for lakes, and have profiles showing decrease with depth in general.

If we inspect Fig. 5 which shows the geographical distribution of k for the surface layer (0–25m), we can know the following facts.

(1) Along the Kuroshio Current, we can find the areas showing comparatively high values of k (10–29.9 c.g.s.), and the areas having $k > 20$ (c.g.s.) are located from west off Okinawa Islands to south off Shiono-misaki via south off Yaku-jima, around Hachijō-jima, and east off Inubō-misaki.

(2) On the contrary, along the coastal counter-current from Ise Bay to Ōarai-misaki, the lower valued region with $k < 10$ (c.g.s.) is located.

(3) Along the Tsushima Current, k distributes rather uniformly, and k is lower than 10 (c.g.s.) for the whole areas over Japan Sea excepting several scattered areas near the Japanese coast. The wide areas of the northwestern part of Japan Sea are characterized by the lower value of k less than 5 (c.g.s.).

(4) The areas of the low values of k less than 5 (c.g.s.) can be also found over Yellow Sea and northern part of East China Sea, while the area with a protuberance of high value above 10 (c.g.s.) is found at the west off Kyūshū.

The similar characters can be found on the geographical distributions for the layers of 25–50m and 50–100m (see Fig. 6 and 7 respectively), however the general tendency of the decrease of the numerical values of k with depth appears.

6. Remarks

It is well-known that the data of annual variation of water temperature are utilized to find the eddy thermal diffusivity (k). The prevailing method for finding k depends upon the formula derived from a periodic solution of the equation for linear flow of heat within the medium with constant diffusivity,

$$k=\frac{\pi}{T}\left(\frac{z_2-z_1}{\ln(a_1/a_2)}\right)^2 \quad (\text{say } k_A)$$

$$=\frac{\pi}{T}\left(\frac{z_2-z_1}{\varepsilon_1-\varepsilon_2}\right)^2 \quad (\text{say } k_p),$$

where a_1 and a_2 are the amplitudes, and ε_1 and ε_2 are the phase angles at the depths z_1 and z_2 of the annual term of the variation respectively, T is the period ($365\frac{1}{4}\times 24\times 60\times 60$ sec) and $\pi\fallingdotseq 3.14$. It is already noticed that this method begins with a physically illogical principle and, moreover, the disagreement of the numerical values between k_A and k_p appears frequently and also to extract the annual term from the whole variation, a troublesome procedure of harmonic analysis of the data must be carried out.

Putting away the restriction of the constancy of k with depth, modifications of the method are carried out by H. Jeffreys[9] and J. Fjeldstad.[10] Jeffreys obtained the following results;

$$k\frac{\partial A}{\partial z}=\sigma\int B dz \quad \text{and} \quad k\frac{\partial B}{\partial z}=-\sigma\int A dz,$$

Table 14

The amount of annual heat exchange and the annual mean eddy thermal diffusivity in the sea around Japan

Station	Depth (m)	$\bar{\theta}$ (°C)	Time of q_{max}	Time of q_{min}	Q (10^3 cal)	$\Delta\bar{\theta}$ (°C)	k ($cm^2\ sec^{-1}$)	Remark
off Garampii	0	27.6	Aug.	Feb.	35.9	0.6	4.1	b
21°–20′N	25	27.0	Oct.	Feb.	25.4	0.7	2.3	
121°–27′E	50	26.3	Nov.	Feb.	15.9	1.2	0.9	
	100	25.1	—	—	—			
150mi. E off Seikō-ō	0	26.5	Aug.	Feb.	53.3	0.4	9.2	b
23°–10′N	25	26.1	Aug.	Feb.	39.4	0.6	4.3	
124°–07′E	50	25.5	Oct.	Feb.	25.6	2.1	0.9	
	100	23.4	—	—	—			
100mi. E off Seikō-ō	0	26.6	Sept.	Feb.	51.3	0.3	11.5	b
23°–10′N	25	26.3	Oct.	Feb.	36.1	0.4	5.8	
123°–12′E	50	25.9	Oct.	Feb.	22.8	1.6	1.1	
	100	24.3	—	—	—			
50mi. E off Seikō-ō	0	26.1	Sept.	March	58.5	0.3	13.3	b
23°–10′N	25	25.8	Oct.	March	42.5	0.5	5.5	
122°–18′E	50	25.3	Oct.	March	27.3	1.9	1.1	
	100	23.4	—	—	—			
56mi. from Sou-ō to	0	26.1	Sept.	March	47.0	0.3	10.3	a
Yonakuni-jima	25	25.8	Sept.	March	31.3	0.7	2.8	
24°–28′N	50	25.1	Oct.	March	19.0	1.4	1.0	
122°–51′E	100	23.7	—	—	—			
30mi. from Iriomote-	0	25.7	Sept.	Feb.	50.1	0.2	16.9	a
jima to Keelung	25	25.5	Sept.	Feb.	35.3	0.5	4.5	
24°–34′N	50	25.0	Oct.	Feb.	21.4	1.1	1.5	
123°–14′E	100	23.9	—	—	—			
90mi from Iriomote-	0	22.4	Sept.	March	63.9	0.8	5.3	a
jima to Keelung	25	21.6	Sept.	March	42.5	1.0	2.6	
25°–00′N	50	20.6	Nov.	March	24.2	2.9	0.6	
122°–14′E	100	17.7	—	—	—			

Table 14 (Continued)

Station	Depth (m)	$\bar{\theta}$ (°C)	Time of q_{max}	Time of q_{min}	Q (10^3 cal)	$\Delta\bar{\theta}$ (°C)	k ($cm^2\ sec^{-1}$)	Remark
200mi. from Tung Yang Is. to Ikema-jima 25°–19′N 123°–58′E	0	25.8	Sept.	Feb.	51.1	0.6	5.7	b
	25	25.2	Oct.	Feb.	35.8	0.5	4.5	
	50	24.7	Nov.	Feb.	21.5	1.5	1.1	
	100	23.2	—	—	—			
140mi. from Tung Yang Is. to Ikema-jima 25°–37′N 122°–55′E	0	25.9	Aug.	Jan.	31.3	0.8	2.5	b
	25	25.1	Nov.	Jan.	19.3	1.2	1.0	
	50	23.9	Nov.	Jan.	9.9	1.9	0.4	
	100	22.0	—	—	—			
80mi from Tung Yang Is. to Ikema-jima 25°–56′N 121°–53′E	0	24.2	Aug.	Jan.	39.1	0.5	5.1	b
	25	23.7	Aug.	Jan.	25.3	0.9	1.7	
	50	22.8	Nov.	Jan.	13.0	3.9	0.2	
	100	18.9	—	—	—			
20mi. from Tung Yang Is. to Ikema-jima 26°–16′N 120°–50′E	0	22.5	Oct.	Feb.	70.6	0.5	9.3	b
	25	22.0	Oct.	Feb.	46.8	0.3	9.2	
	50	21.7	Oct.	Feb.	23.1	0.2	4.6	
	75	21.5	—	—	—			
5mi. S off Tyanzaki 25°–59′N 127°–41′E	0	24.8	Sept.	March	81.6	0.5	11.4	a
	25	24.3	Oct.	March	62.6	0.5	8.5	
	50	23.8	Nov.	March	45.0	1.2	4.2	
	100	22.6	Dec.	March	19.1	1.1	1.4	
	150	21.5	—	—	—			
51mi. W off Tyanzaki 26°–05′N 126°–43′E	0	25.3	Aug.	Feb.	80.3	0.4	14.1	c
	25	24.9	Sept.	Feb.	62.0	1.1	4.0	
	50	23.8	Nov.	Feb.	49.5	1.8	3.3	
	100	22.0	Nov.	Feb.	24.6	3.0	1.1	
	200	19.0	—	—	—			
102mi. W off Tyanzaki 26°–05′N 125°–50′E	0	26.1	Sept.	Feb.	56.9	0.2	20.3	c
	25	25.9	Sept.	Feb.	45.3	0.5	6.3	
	50	25.4	Oct.	Feb.	33.8	1.3	3.1	
	100	24.1	Oct.	Feb.	16.1	2.9	0.5	
	200	21.2	—	—	—			
153mi. W off Tyanzaki. 26°–05′N 124°–55′E	0	26.1	Sept.	Feb.	89.2	0.3	21.5	c
	25	25.8	Sept.	Feb.	73.2	0.4	13.1	
	50	25.4	Sept.	Feb.	58.9	1.9	3.9	
	100	23.5	Sept.	Feb.	35.3	4.0	1.3	
	200	19.5	—	—	—			
20mi. NW off Naha 26°–26′N 127°–23′E	0	24.2	Aug.	Feb.	98.8	0.4	17.9	b
	25	23.8	Aug.	Feb.	81.5	0.6	9.3	
	50	23.2	Sept.	Feb.	59.5	1.4	4.8	
	100	21.8	Nov.	Feb.	28.8	2.1	1.8	
	200	19.7	—	—	—			
60mi. NW off Naha 26°–52′N 126°–49′E	0	24.6	Aug.	Feb.	84.9	0.3	19.8	b
	25	24.3	Aug.	Feb.	64.8	0.7	6.5	
	50	23.6	Oct.	Feb.	51.0	1.6	3.8	
	100	22.0	Nov.	Feb.	26.3	2.5	1.4	
	200	19.5	—	—	—			
100mi. NW off Naha 27°–17′N 126°–19′E	0	24.7	Sept.	March	95.3	0.3	23.1	a
	25	24.4	Sept.	March	79.8	0.3	19.9	
	50	24.1	Sept.	March	71.3	2.0	4.4	
	100	22.1	Nov.	March	40.8	3.3	1.5	
	200	18.8	—	—	—			
140mi. NW off Naha 27°–44′N 125°–46′E	0	23.4	Aug.	Feb.	71.1	0.7	6.6	b
	25	22.7	Sept.	Feb.	45.6	1.5	1.8	
	50	21.2	Nov.	Feb.	22.9	2.9	0.5	
	100	18.3	—	—	—			

Table 14 (Continued)

Station	Depth (m)	$\bar{\theta}$ (°C)	Time of q_{max}	Time of q_{min}	Q (10^3 cal)	$\Delta\bar{\theta}$ (°C)	k ($cm^2\ sec^{-1}$)	Remark
180mi. NW off Naha	0	21.8	Aug.	April	90.7	0.7	8.6	b
	25	21.1	Sept.	April	61.7	0.7	5.4	
28°–10′N	50	20.4	Nov.	April	34.4	2.8	0.8	
125°–13′E	100	17.6	—	—	—			
40mi. W off Yokoate-jima	0	24.8	Sept.	March	103.0	0.4	19.3	b
	25	24.4	Sept.	March	91.8	0.3	21.8	
28°–48′N	50	24.1	Sept.	March	73.3	0.7	13.5	
	100	23.4	Sept.	March	44.5	0.5	13.5	
128°–13′E	200	22.9	—	—	—			
100mi. W off Yokoate-jima	0	24.7	Sept.	Jan.	112.8	0.4	20.5	b
	25	24.3	Sept.	Jan.	94.0	0.4	17.0	
28°–48′N	50	23.9	Sept.	Jan.	77.5	0.5	19.6	
	100	23.4	Sept.	Jan.	46.8	1.0	6.9	
127°–06′E	200	22.4	—	—	—			
80mi. SSW off Nagata-misaki	0	24.6	Sept.	Jan.	111.5	0.6	13.8	b
	25	24.0	Sept.	Jan.	96.8	0.3	23.1	
29°–07′N	50	23.7	Sept.	Jan.	78.3	0.6	15.9	
	100	23.1	Sept.	Jan.	44.3	0.8	8.3	
129°–53′E	200	22.3	—	—	—			
50mi. from Yaku-shima to Ō-shima	0	24.5	Sept.	Feb.	83.5	0.2	29.9	b
	25	24.3	Sept.	Feb.	67.5	0.3	15.7	
29°–27′N	50	24.0	Sept.	Feb.	51.3	1.0	5.8	
	100	23.0	Sept.	Feb.	22.0	1.3	1.3	
130°–07′E	150	21.7	—	—	—			
120mi. W off Gajya-jima	0	23.88	Aug.	Jan.	67.4	0.41	11.7	c
	25	23.47	Aug.	Jan.	43.0	0.40	6.5	
29°–54′N	50	23.07	Sept.	Jan.	22.4	4.05	0.4	
127°–39′E	100	19.02	—	—	—			
100mi. WSW off Noma-misaki	0	23.03	Sept.	March	84.6	0.64	9.3	b
	25	22.39	Sept.	March	65.7	0.56	8.2	
30°–54′N	50	21.83	Oct.	March	50.6	2.10	2.7	
	100	19.73	Nov.	March	20.9	5.15	0.3	
128°–27′E	200	14.58	—	—	—			
50mi. WSW off Noma-misaki	0	22.30	Aug.	March	108.2	0.37	20.8	a
	25	21.93	Sept.	March	85.8	0.78	7.7	
31°–11′N	50	21.15	Oct.	March	65.5	1.91	4.0	
	100	19.24	Dec.	March	30.5	3.58	1.0	
129°–22′E	200	15.66	—	—	—			
25mi. SSW off Kaimon-misaki	0	22.6	Sept.	March	121.8	0.3	29.1	b
	25	22.3	Sept.	March	98.8	0.7	9.9	
30°–46′N	50	21.6	Oct.	March	76.8	1.5	2.5	
	100	20.1	Oct.	March	38.0	2.6	1.1	
130°–22′E	150	17.5	—	—	—			
Kagoshima Bay	0	21.80	Sept.	April	71.3	1.80	2.6	a
	25	20.00	Oct.	April	46.3	1.54	2.0	
31°–25′N	50	18.46	Nov.	April	31.0	2.27	1.6	
	100	16.19	Dec.	April	16.1	0.66	2.7	
130°–38′E	200	15.53	—	—	—			
140mi. S off Toi-misaki	0	23.9	Sept.	April	145.0	0.4	26.5	b
	25	23.5	Sept.	April	122.8	0.4	22.0	
29°–02′N	50	23.1	Sept.	April	99.8	0.7	17.8	
	100	22.4	Oct.	April	57.5	2.7	2.9	
131°–20′E	200	19.7	—	—	—			

Table 14 (Continued)

Station	Depth (m)	$\bar{\theta}$ (°C)	Time of q_{max}	Time of q_{min}	Q (10^3 cal)	$\Delta\bar{\theta}$ (°C)	k ($cm^2\ sec^{-1}$)	Remark
40mi. S off Toi-misaki 30°-40′N 131°-20′E	0	23.3	Sept.	March	123.8	0.4	22.5	b
	25	22.9	Sept.	March	103.0	0.3	24.3	
	50	22.6	Sept.	March	81.0	0.9	11.1	
	100	21.7	Oct.	March	45.8	3.7	1.8	
	200	18.0	—	—	—			
100mi. E off Kurazaki 31°-32′N 133°-24′E	0	23.4	Sept.	March	105.6	0.4	18.4	a
	25	23.0	Sept.	March	80.5	0.4	14.0	
	50	22.6	Oct.	March	61.3	1.3	5.6	
	100	21.3	Dec.	March	31.3	2.1	2.2	
	200	19.2	—	—	—			
50mi. E off Kurazaki 31°-32′N 132°-24′E	0	23.4	Sept.	March	118.0	0.4	20.5	a
	25	23.0	Sept.	March	88.5	0.5	12.3	
	50	22.5	Sept.	March	67.3	1.2	3.9	
	100	21.3	Nov.	March	37.0	2.6	2.1	
	200	18.7	—	—	—			
200mi. SSE off Ashizuri-misaki 29°-37′N 134°-35′E	0	23.0	Aug.	March	78.3	0.4	13.2	c
	25	22.6	Sept.	March	55.0	1.3	2.9	
	50	21.3	Nov.	March	40.8	1.6	2.8	
	100	19.7	Dec.	March	17.5	1.4	1.6	
	200	18.3	—	—	—			
100mi. SSE off Ashizuri-misaki 31°-10′N 133°-44′E	0	23.0	Aug.	March	92.8	0.6	10.8	c
	25	22.4	Sept.	March	69.5	1.0	4.7	
	50	21.4	Nov.	March	48.8	1.4	4.1	
	100	20.0	Dec.	March	25.0	1.5	2.1	
	200	18.5	—	—	—			
50mi. SSE off Ashizuri-misaki 31°-56′N 133°-22′E	0	23.4	Aug.	March	94.8	0.3	22.2	a
	25	23.1	Aug.	March	73.0	0.7	7.1	
	50	22.4	Oct.	March	52.0	1.6	3.4	
	100	20.8	Dec.	March	26.0	2.5	1.4	
	200	18.3	—	—	—			
30mi. SSE off Ashizuri-misaki 32°-16′N 133°-14′E	0	23.0	Sept.	Feb.	130.5	0.7	13.4	c
	25	22.3	Oct.	Feb.	105.6	1.0	7.5	
	50	21.3	Nov.	Feb.	83.3	1.7	6.2	
	100	19.6	Dec.	Feb.	50.0	3.7	2.0	
	200	15.9	—	—	—			
Fixed Ship Station "T" 29°-00′N 135°-00′E	0	23.31	Aug.	Feb.	81.8	0.21	26.4	a
	25	23.10	Sept.	Feb.	58.0	1.08	3.6	
	50	22.02	Nov.	Feb.	38.8	1.84	2.4	
	100	20.18	Dec.	Feb.	17.3	2.12	0.9	
	200	18.06	—	—	—			
100mi. S off Shiono-misaki 31°-48′N 135°-45′E	0	22.4	Sept.	March	101.8	0.3	24.7	a
	25	22.1	Sept.	March	85.3	0.5	11.9	
	50	21.6	Oct.	March	64.8	1.2	6.4	
	100	20.4	Dec.	March	34.0	1.3	3.6	
	200	19.1	—	—	—			
50mi. S off Shiono-misaki. 32°-35′N 135°-45′E	0	23.0	Sept.	Feb.	104.8	0.4	18.7	a
	25	22.6	Sept.	Feb.	83.8	0.6	9.9	
	50	22.0	Oct.	Feb.	66.3	1.3	6.2	
	100	20.7	Oct.	Feb.	37.5	1.9	3.0	
	200	18.8	—	—	—			
180mi. SE off Goza-misaki 32°-08′N 139°-17′E	0	21.6	Sept.	Feb.	117.8	0.6	13.3	b
	25	21.0	Sept.	Feb.	83.0	1.3	4.2	
	50	19.7	Nov.	Feb.	56.0	1.3	5.1	
	100	18.4	Nov.	Feb.	30.5	4.0	1.2	
	200	14.4	—	—	—			

Table 14 (Continued)

Station	Depth (m)	$\bar{\theta}$ (°C)	Time of q_{max}	Time of q_{min}	Q (10^3 cal)	$\Delta\bar{\theta}$ (°C)	k ($cm^2\,sec^{-1}$)	Remark
105mi. SE off Goza-misaki 33°-02′N 138°-12′E	0	21.8	Sept.	Feb.	115.0	0.9	9.0	a
	25	20.9	Oct.	Feb.	89.8	0.9	7.2	
	50	20.0	Oct.	Feb.	73.8	1.7	5.3	
	100	18.3	Oct.	Feb.	40.5	2.7	2.3	
	200	15.6	—	—	—			
40mi. SE off Goza-misaki 33°-48′N 137°-18′E	0	21.3	Sept.	Feb.	86.3	1.1	5.3	a
	25	20.2	Oct.	Feb.	61.0	1.3	3.1	
	50	18.9	Oct.	Feb.	40.6	2.0	2.1	
	100	16.9	Jan.	Feb.	15.3	3.5	0.5	
	200	13.4	—	—	—			
25mi. SE off Goza-misaki 33°-58′N 137°-07′E	0	21.1	Sept.	Jan.	91.0	0.8	7.9	a
	25	20.3	Oct.	Jan.	69.3	1.4	3.4	
	50	18.9	Dec.	Jan.	49.8	1.8	3.2	
	100	17.1	Dec.	Jan.	23.6	2.6	1.0	
	200	14.5	—	—	—			
Ago Bay 34°-17′N 136°-46′E	0	19.1	Aug.	Jan.	9.2	0.4	0.12	a
	2	18.7	Aug.	Jan.	5.5	0.3	0.09	
	5	18.4	—	—	—			
90mi. SSE off Irō-zaki 33°-13′N 139°-30′E	0	22.2	Sept.	March	196.0	0.5	28.6	a
	25	21.7	Sept.	March	165.0	0.5	23.8	
	50	21.2	Sept.	March	135.3	1.5	11.9	
	100	19.7	Nov.	March	90.5	2.6	5.4	
	200	17.1	—	—	—			
30mi. SSE off Irō-zaki 34°-08′N 139°-04′E	0	21.1	Sept.	March	105.3	1.0	7.5	a
	25	20.1	Oct.	March	84.9	1.2	4.9	
	50	18.9	Oct.	March	63.5	2.0	3.5	
	100	16.9	Dec.	March	28.2	3.2	1.0	
	200	13.7	—	—	—			
Suruga Bay 35°-00′N 138°-40′E	0	19.9	Sept.	Feb.	91.5	1.0	6.4	b
	25	18.9	Oct.	Feb.	69.6	1.0	4.7	
	50	17.9	Nov.	Feb.	49.5	1.9	2.9	
	100	16.0	Nov.	Feb.	21.0	1.2	1.4	
	150	14.8	—	—	—			
220mi. SE off Nojima-zaki 32°-17′N 143°-00′E	0	22.3	Aug.	March	90.0	0.9	7.1	b
	25	21.4	Sept.	March	70.5	1.4	3.6	
	50	20.0	Oct.	March	57.8	1.4	4.5	
	100	18.6	Nov.	March	26.8	1.3	2.9	
	200	17.3	—	—	—			
100mi. SE off Nojima-zaki 33°-44′N 141°-17′E	0	22.1	Sept.	April	140.0	0.5	14.1	b
	25	21.6	Sept.	April	74.3	0.7	7.3	
	50	20.9	Nov.	April	54.0	1.4	4.3	
	100	19.5	Dec.	April	24.3	2.2	1.2	
	200	17.3	—	—	—			
20mi. SE off Nojima-zaki 34°-39′N 140°-10′E	0	20.9	Sept.	April	81.3	0.8	7.3	b
	25	20.1	Oct.	April	65.5	1.4	3.3	
	50	18.7	Nov.	April	52.5	1.7	3.6	
	100	17.0	Dec.	April	27.0	3.3	1.1	
	200	13.7	—	—	—			
200mi. E off Inubō-misaki 35°-42′N 145°-00′E	0	21.1	Sept.	March	192.0	0.6	23.2	b
	25	20.5	Sept.	March	158.5	0.6	19.2	
	50	19.9	Sept.	March	132.8	2.0	8.6	
	100	17.9	Dec.	March	85.0	2.7	5.3	
	200	15.2	—	—	—			

Table 14 (Continued)

Station	Depth (m)	$\bar{\theta}$ (°C)	Time of q_{max}	Time of q_{min}	Q (10^3 cal)	$\Delta\bar{\theta}$ (°C)	k ($cm^2\ sec^{-1}$)	Remark
100mi. E off	0	22.2	Sept.	March	142.5			b
Inubō-misaki	25	21.8	Sept.	March	119.8	0.4	26.0	
	50	21.0	Oct.	March	95.8	0.8	10.7	
35°–42′N	100	19.5	Nov.	March	59.3	1.5	8.0	
142°–57′E	200	18.0	—	—	—	1.5	5.9	
30mi. E off	0	20.1	Sept.	Feb.	118.8			b
Inubō-misaki	25	19.0	Oct.	Feb.	95.8	1.1	7.7	
	50	17.2	Nov.	Feb.	70.3	1.8	3.7	
35°–42′N	100	15.5	Nov.	Feb.	39.8	1.7	5.1	
141°–29′E	200	12.4	—	—	—	3.1	2.0	
50mi. E off	0	17.7	Aug.	April	119.5			a
Ōarai-misaki	25	16.1	Sept.	April	103.8	1.6	5.5	
	50	14.6	Oct.	April	86.8	1.5	5.0	
36°–19′N	100	12.4	Dec.	April	55.5	2.2	5.2	
141°–37′E	200	9.6	—	—	—	2.8	3.0	
20mi. E off	0	17.8	Sept.	April	120.0			a
Ōarai-misaki	25	16.3	Oct.	April	93.5	1.5	5.6	
	50	14.9	Oct.	April	79.3	1.4	4.9	
36°–19′N	100	13.6	Nov.	April	53.0	1.3	8.2	
141°–00′E	200	10.7	—	—	—	2.9	2.0	
200mi. E off	0	16.8	Aug.	March	123.2			b
Shioya-zaki	25	14.5	Nov.	March	93.5	2.3	3.7	
	50	13.1	Nov.	March	75.0	1.4	4.8	
37°–00′N	100	10.5	Nov.	March	41.5	2.6	3.5	
145°–07′E	200	7.6	—	—	—	2.9	2.1	
100mi. E off	0	16.6	Sept.	March	217.3			b
Shioya-zaki	25	14.2	Oct.	March	181.1	2.4	6.6	
	50	12.8	Oct.	March	152.8	1.4	9.5	
37°–00′N	100	10.2	Nov.	March	95.0	2.6	6.9	
143°–03′E	200	7.8	—	—	—	2.4	6.3	
30mi. E off	0	15.1	Aug.	March	142.1			b
Shioya-zaki	25	13.4	Nov.	March	105.6	1.7	5.8	
	50	12.1	Nov.	March	79.7	1.3	5.6	
37°–00′N	100	10.7	Nov.	March	45.7	1.4	7.0	
141°–36′E	200	7.2	—	—	—	3.5	1.9	
200mi. E off	0	16.5	Aug.	Feb.	62.7			b
Kinkwazan	25	15.1	Nov.	Feb.	38.3	1.4	2.9	
	50	14.0	Dec.	Feb.	25.4	1.1	2.3	
38°–16′N	100	12.2	Dec.	Feb.	10.7	1.8	1.5	
145°–43′E	200	9.8	—	—	—	2.4	0.5	
150mi. E off	0	16.1	Aug.	March	59.0			b
Kinkwazan	25	14.4	Nov.	March	34.9	1.7	2.2	
	50	13.3	Dec.	March	26.3	1.1	2.2	
38°–16′N	100	11.3	Dec.	March	18.4	2.0	1.8	
144°–41′E	200	8.5	—	—	—	2.8	1.0	
100mi. E off	0	15.7	Sept.	March	175.0			b
Kinkwazan	25	14.1	Sept.	March	145.0	1.6	7.9	
	50	13.1	Sept.	March	123.3	1.0	10.6	
38°–16′N	100	11.3	Sept.	March	81.5	1.8	9.0	
143°–39′E	200	9.9	—	—	—	1.4	9.2	
50mi. E off	0	13.9	Sept.	March	220.5			b
Kinkwazan	25	12.3	Sept.	March	179.0	1.6	9.9	
	50	10.9	Oct.	March	147.0	1.4	8.7	
38°–16′N	100	9.5	Oct.	March	92.8	1.4	13.4	
142°–38′E	200	8.0	—	—	—	1.5	9.5	

Table 14 (Continued)

Station	Depth (m)	$\bar{\theta}$ (°C)	Time of q_{max}	Time of q_{min}	Q (10^3 cal)	$\Delta\bar{\theta}$ (°C)	k ($cm^2\ sec^{-1}$)	Remark
Fixed Ship Station "X" 39°-00′N 153°-00′E	0	16.08	Sept.	March	76.5	0.48	10.1	a
	25	15.60	Oct.	March	45.3	1.79	1.5	
	50	13.81	Nov.	March	23.8	1.71	1.6	
	100	12.10	Dec.	March	12.0	2.27	0.8	
	200	9.83	—	—	—			
200mi. E off Same 40°-34′N 145°-56′E	0	10.8	Aug.	March	115.9	2.3	3.4	b
	25	8.5	Nov.	March	80.4	1.5	3.6	
	50	7.0	Jan.	March	54.8	2.1	2.8	
	100	4.9	Jan.	March	24.2	1.4	2.4	
	200	3.5	—	—	—			
100mi. E off Same 40°-34′N 143°-42′E	0	11.6	Sept.	March	170.5	1.5	7.8	b
	25	10.1	Sept.	March	125.0	1.9	4.5	
	50	8.2	Sept.	March	90.5	1.8	6.1	
	100	6.4	Oct.	March	49.3	1.7	4.2	
	200	4.7	—	—	—			
30mi. E off Same 40°-34′N 142°-13′E	0	12.4	Oct.	Feb.	131.3	1.7	5.4	b
	25	10.7	Oct.	Feb.	102.3	0.9	8.0	
	50	9.8	Nov.	Feb.	78.8	1.1	8.2	
	100	8.7	Dec.	Feb.	36.9	2.1	2.0	
	200	6.6	—	—	—			
11mi. E off Same 40°-34′N 141°-49′E	0	13.45	Sept.	March	111.5	0.85	8.8	a
	25	12.60	Oct.	March	77.3	1.36	5.6	
	90	11.24	—	—	—			
50mi. S off Noshappu-misaki 42°-33′N 145°-49′E	0	9.4	Sept.	April	72.4	2.2	2.0	b
	25	7.2	Oct.	April	39.2	2.6	1.0	
	50	4.6	Nov.	April	24.5	1.9	1.2	
	100	2.7	Dec.	April	7.0	0.3	1.7	
	200	2.4	—	—	—			
100mi. WSW off Onikizaki 31°-30′N 128°-15′E	0	22.1	Sept.	March	128.5	0.4	23.6	a
	25	21.7	Sept.	March	109.8	0.5	14.8	
	50	21.2	Sept.	March	77.5	1.4	6.4	
	100	19.8	Nov.	March	33.5	3.4	0.9	
	200	16.4	—	—	—			
24mi. WSW off Onikizaki 32°-03′N 129°-33′E	0	21.0	Sept.	March	99.0	0.6	11.1	a
	25	20.4	Sept.	March	69.5	0.6	7.5	
	50	19.8	Oct.	March	43.8	1.2	2.8	
	100	18.6	—	—	—			
Gotō-nada 32°-48′N 129°-20′E	0	20.4	Aug.	Feb.	93.5	0.7	8.9	a
	25	19.7	Aug.	Feb.	63.5	0.6	6.6	
	50	19.1	Sept.	Feb.	36.5	2.2	1.2	
	100	16.9	—	—	—			
Tsushima Strait 34°-00′N 129°-39′E	0	20.0	Sept.	March	96.8	0.8	8.2	a
	25	19.2	Oct.	March	69.5	0.7	6.4	
	50	18.5	Oct.	March	43.0	1.6	2.0	
	100	16.9	—	—	—			
10mi. from Kawashiri-misaki to Urusaki 34°-32′N 130°-50′E	0	19.3	Sept.	March	99.6	0.4	16.8	a
	25	18.9	Sept.	March	69.8	1.0	4.6	
	50	17.9	Oct.	March	45.9	1.2	3.6	
	100	16.7	Nov.	March	8.9	0.4	0.5	
	113	16.3	—	—	—			
30mi. from Kawashiri-misaki to Urusaki 34°-45′N 130°-31′E	0	19.2	Sept.	March	81.4	0.9	6.0	a
	25	18.3	Oct.	March	55.8	1.4	2.7	
	50	16.9	Nov.	March	38.8	1.2	3.4	
	100	15.7	Dec.	March	13.1	0.8	0.9	
	136	14.9	—	—	—			

Table 14 (Continued)

Station	Depth (m)	$\bar{\theta}$ (°C)	Time of q_{max}	Time of q_{min}	Q (10^3 cal)	$\Delta\bar{\theta}$ (°C)	k ($cm^2\ sec^{-1}$)	Remark
50mi. from Kawashiri-misaki to Urusaki 34°–57′N 130°–12′E	0	18.8	Sept.	March	82.1	0.8	6.3	a
	25	18.0	Oct.	March	57.8	1.4	2.7	
	50	16.6	Nov.	March	38.6	1.6	2.3	
	100	15.0	Dec.	March	9.9	0.9	0.5	
	127	14.1	—	—	—			
70mi. from Kawashiri-misaki to Urusaki 35°–10′N 129°–53′E	0	18.6	Sept.	March	74.2	0.8	6.4	a
	25	17.8	Oct.	March	54.3	1.4	2.5	
	50	16.4	Nov.	March	34.5	1.7	1.9	
	100	14.7	Dec.	March	13.0	4.6	0.2	
	153	10.1	—	—	—			
20mi. NW off Hamada 35°–08′N 131°–46′E	0	19.0	Aug.	March	93.3	0.7	8.7	a
	25	18.3	Oct.	March	59.8	1.1	3.5	
	50	17.2	Nov.	March	37.5	1.5	2.0	
	100	15.7	—	—	—			
50mi. NW off Hamada 35°–30′N 131°–20′E	0	18.7	Aug.	March	82.8	1.0	5.5	a
	25	17.7	Oct.	March	54.8	1.2	2.9	
	50	16.5	Nov.	March	31.8	2.2	1.0	
	100	14.3	—	—	—			
100mi. NW off Hamada 36°–05′N 130°–36′E	0	17.5	Sept.	March	82.8	1.1	5.0	a
	25	16.4	Oct.	March	55.5	1.8	2.0	
	50	14.6	Nov.	March	33.5	2.7	0.9	
	100	11.9	—	—	—			
50mi. N off Karo 36°–23′N 134°–12′E	0	17.7	Aug.	March	163.8	1.3	9.0	b
	25	16.4	Oct.	March	130.8	1.7	5.6	
	50	14.7	Nov.	March	109.3	1.7	8.1	
	100	13.0	Nov.	March	68.5	7.1	1.6	
	200	5.9	—	—	—			
30mi. N off Kyō-ga-misaki 36°–16′N 135°–13′E	0	17.9	Sept.	March	205.5	1.0	14.6	b
	25	16.9	Sept.	March	163.3	1.0	11.3	
	50	15.9	Sept.	March	122.5	2.0	7.2	
	100	13.9	Oct.	March	62.0	8.6	1.1	
	200	5.3	—	—	—			
30mi. NNW off Tateishizaki 36°–12′N 135°–46′E	0	17.6	Sept.	March	117.8	0.8	9.8	a
	25	16.8	Sept.	March	80.3	0.9	5.9	
	50	15.9	Oct.	March	53.2	1.9	2.8	
	100	14.0	Nov.	March	18.1	5.9	0.3	
	200	8.1	—	—	—			
100mi. NNW off Tateishizaki 37°–16′N 135°–10′E	0	16.7	Sept.	March	135.5	1.7	5.2	b
	25	15.0	Oct.	March	85.7	1.7	3.5	
	50	13.3	Nov.	March	63.8	2.4	3.2	
	100	10.9	Dec.	March	35.2	6.9	0.6	
	200	4.0	—	—	—			
150mi. NNW off Tateishizaki 38°–02′N 134°–44′E	0	15.9	Sept.	March	149.5	2.1	4.9	b
	25	13.8	Nov.	March	111.4	2.7	2.7	
	50	11.1	Dec.	March	72.1	3.7	2.3	
	100	7.4	Dec.	March	36.8	4.1	1.3	
	200	3.3	—	—	—			
200mi. NNW off Tateishizaki 38°–48′N 134°–18′E	0	13.9	July	April	66.8	2.8	1.6	c
	25	11.1	Nov.	April	43.2	3.0	0.9	
	50	8.1	Nov.	April	28.3	4.3	0.7	
	100	3.8	Nov.	April	10.6	2.2	0.5	
	200	1.6	—	—	—			

Table 14 (Continued)

Station	Depth (m)	$\bar{\theta}$ (°C)	Time of q_{max}	Time of q_{min}	Q (10^3 cal)	$\Delta\bar{\theta}$ (°C)	k ($cm^2\ sec^{-1}$)	Remark
20mi. NNW off Rokugō-zaki 37°-51′N 137°-10′E	0	17.0	Aug.	April	115.4	1.4	5.5	c
	25	15.6	Aug.	April	78.6	1.3	3.5	
	50	14.3	Nov.	April	51.3	2.0	2.5	
	100	12.3	Nov.	April	13.6	3.3	0.2	
	150	9.0	—	—	—			
50mi. NNW off Rokugō-zaki 38°-18′N 136°-56′E	0	16.4	Aug.	April	104.0	1.6	4.4	c
	25	14.8	Aug.	April	72.7	1.3	3.8	
	50	13.5	Nov.	April	52.4	3.7	1.7	
	100	9.8	Nov.	April	25.2	5.3	0.6	
	200	4.5	—	—	—			
10mi. NW off Hajikizaki 38°-28′N 138°-22′E	0	16.8	Sept.	April	123.8	1.3	6.4	b
	25	15.5	Oct.	April	87.0	1.7	3.3	
	50	13.8	Nov.	April	60.5	1.6	4.0	
	100	12.2	Dec.	April	26.3	4.8	0.7	
	200	7.4	—	—	—			
50mi. NW off Hajikizaki 38°-55′N 137°-48′E	0	16.3	Sept.	March	140.0	2.1	4.7	b
	25	14.2	Oct.	March	107.0	2.2	3.3	
	50	12.0	Nov.	March	77.5	2.3	4.5	
	100	9.7	Nov.	March	52.0	4.3	1.9	
	200	5.4	—	—	—			
30mi. W off Kamo 38°-46′N 139°-05′E	0	16.5	Sept.	April	141.5	1.3	7.7	a
	25	15.2	Oct.	April	111.0	1.6	6.8	
	50	13.6	Nov.	April	83.8	1.7	5.9	
	100	11.9	Nov.	April	42.8	4.0	1.3	
	200	7.9	—	—	—			
30mi. W off Tsuchizaki 39°-46′N 139°-24′E	0	15.7	Sept.	March	162.5	1.0	11.4	a
	25	14.7	Oct.	March	126.3	1.1	8.0	
	50	13.6	Nov.	March	94.8	2.1	5.5	
	100	11.5	Dec.	March	52.5	3.4	2.2	
	200	8.1	—	—	—			
50mi. W off Tsuchizaki 39°-46′N 138°-58′E	0	15.9	Sept.	March	151.3	1.5	7.1	a
	25	14.4	Oct.	March	116.5	1.5	5.4	
	50	12.9	Nov.	March	86.0	2.0	5.0	
	100	10.9	Nov.	March	44.0	4.0	1.5	
	200	6.9	—	—	—			
100mi. W off Tsuchizaki 39°-46′N 137°-54′E	0	16.2	Sept.	April	176.5	2.3	5.3	b
	25	13.9	Sept.	April	132.0	1.4	6.5	
	50	12.5	Oct.	April	96.6	3.9	2.7	
	100	8.6	Oct.	April	41.8	4.7	1.1	
	200	3.9	—	—	—			
20mi. W off Henashizaki 40°-36′N 139°-25′E	0	15.8	Sept.	April	191.0	0.9	15.1	b
	25	14.9	Oct.	April	151.0	1.9	5.6	
	50	13.0	Nov.	April	118.8	1.8	8.0	
	100	11.2	Nov.	April	62.0	3.6	2.2	
	200	7.6	—	—	—			
15mi. W off Esashi 41°-52′N 139°-46′E	0	14.5	Sept.	March	131.3	1.1	8.1	b
	25	13.4	Sept.	March	92.8	2.0	3.1	
	50	11.4	Nov.	March	65.0	3.6	2.2	
	100	7.8	Dec.	March	35.8	4.7	1.1	
	200	3.1	—	—	—			
40mi. W off Esashi 41°-52′N 139°-16′E	0	13.7	Sept.	April	90.8	2.3	2.7	b
	25	11.4	Oct.	April	63.3	3.0	1.4	
	50	8.4	Nov.	April	46.0	4.0	1.3	
	100	4.4	Dec.	April	19.5	2.8	1.0	
	200	1.6	—	—	—			

Table 14 (Continued)

Station	Depth (m)	$\bar{\theta}$ (°C)	Time of q_{max}	Time of q_{min}	Q (10^3 cal)	$\Delta\bar{\theta}$ (°C)	k ($cm^2\ sec^{-1}$)	Remark
50mi. NW off	0	11.9	Sept.	March	112.3			a
Kamoi-misaki	25	10.7	Oct.	March	79.5	1.2	6.3	
	50	8.5	Nov.	March	57.0	2.2	2.5	
43°–54′N	100	5.7	Dec.	March	27.5	2.8	2.3	
139°–33′E	200	2.5	—	—	—	3.2	1.2	
3mi. W off	0	7.0	Sept.	March	69.8			a
Rakuma	25	4.8	Oct.	March	38.0	2.2	1.9	
47°–08′N	50	3.5	Oct.	March	21.0	1.3	1.8	
142°–00′E	100	2.9	—	—	—	0.6	2.6	
21mi. W off	0	7.5	Aug.	April	75.8			a
Rakuma	25	6.1	Oct.	April	44.8	1.4	3.4	
	50	5.1	Nov.	April	33.3	1.0	3.1	
47°–08′N	100	3.9	Dec.	April	20.3	1.2	3.5	
141°–35′E	200	2.4	—	—	—	1.5	2.0	
100mi. W off	0	7.4	Aug.	April	51.3			c
Rakuma	25	5.4	Aug.	April	30.5	2.0	1.6	
	50	3.3	Aug.	April	18.0	2.1	0.9	
47°–08′N	100	2.4	Sept.	April	9.5	0.9	2.4*	
139°–38′E	200	1.6	—	—	—	0.8	1.7*	
34mi. E off	0	9.4	Sept.	March	109.3			a
Seishin	25	6.2	Oct.	March	67.0	3.2	2.2	
	50	3.2	Dec.	March	40.9	3.0	1.4	
41°–46′N	100	1.7	Dec.	March	22.0	1.5	3.3*	
130°–35′E	200	1.2	—	—	—	0.5	5.9*	
14mi. E off	0	9.5	Sept.	March	128.5			a
Seishin	25	6.8	Oct.	March	82.9	2.7	3.1	
	50	3.9	Dec.	March	52.6	2.9	1.9	
41°–46′N	100	2.1	Dec.	March	27.4	1.8	3.4*	
130°–10′E	200	1.5	—	—	—	0.6	7.0*	
34mi. SE off	0	11.4	Sept.	March	77.3			a
Bayō-tō	25	7.9	Oct.	March	40.1	3.5	1.3	
	50	4.1	Nov.	March	19.9	3.8	0.6	
39°–36′N	100	1.8	Nov.	March	7.1	2.3	0.9*	
128°–46′E	200	1.0	—	—	—	0.8	1.3*	
100mi. SE off	0	12.4	Aug.	March	73.5			a
Bayō-tō	25	8.5	Nov.	March	31.5	3.9	1.1	
38°–51′N	50	4.5	Dec.	March	13.5	4.0	0.4	
129°–41′E	100	2.5	—	—	—	2.0	0.6	
45mi. E off	0	15.5	Sept.	March	56.4			a
Tyūmonshin	25	11.3	Nov.	March	36.5	4.2	0.9	
37°–54′N	50	8.4	Jan.	March	19.5	2.9	0.8	
129°–46′E	100	4.7	—	—	—	3.7	0.4	
7mi. E off	0	14.0	Sept.	Feb.	55.2			b
Tyūmonshin	25	10.8	Nov.	Feb.	20.3	3.2	0.9	
37°–54′N	50	6.7	Jan.	Feb.	8.9	4.1	0.3	
128°–59′E	100	3.0	—	—	—	3.7	0.2	
31mi. E off	0	17.8	Sept.	March	44.9			b
Geijitsu Bay	25	15.7	Oct.	March	28.0	2.1	1.4	
36°–06′N	50	14.2	Nov.	March	14.9	1.5	1.1	
130°–04′E	100	10.9	—	—	—	3.3	0.3	
33mi. from Kyo-	0	19.3	Sept.	March	67.3			a
sai-tō to Tsushima	25	18.4	Oct.	March	42.5	0.9	4.8	
34°–16′N	50	16.5	Nov.	March	24.8	1.9	1.4	
128°–59′E	100	14.6	—	—	—	1.9	1.7	

Table 14 (Continued)

Station	Depth (m)	$\bar{\theta}$ (°C)	Time of q_{max}	Time of q_{min}	Q (10^3 cal)	$\Delta\bar{\theta}$ (°C)	k ($cm^2\ sec^{-1}$)	Remark
26mi. W off Sui-tō 34°-42′N 125°-25′E	0	13.9	Aug.	*March	101.3	1.4	4.7	a
	25	12.5	Sept.	March	64.0	1.0	3.9	
	50	11.5	Sept.	March	33.3	0.9	2.0	
	84	10.6	—	—	—			
90mi. from C. Shantung to Shōsei-tō 37°-42′N 124°-31′E	0	11.8	Sept.	Feb.	83.0	1.8	2.7	b
	25	10.0	Sept.	Feb.	41.6	1.8	1.2	
	50	8.2	Sept.	Feb.	10.8	−0.1	—	
	60	8.3	—	—	—			
60mi. from C. Shantung to Shōsei-tō 37°-36′N 123°-54′E	0	13.4	Sept.	Feb.	65.8	3.6	1.0	b
	25	9.8	Sept.	Feb.	25.8	2.5	0.5	
	50	7.3	Nov.	Feb.	7.3	−0.1	—	
	65	7.4	—	—	—			
50mi. from Rōkotan to C. Shantung. 38°-09′N 122°-11′E	0	13.2	Sept.	March	80.3	3.7	1.2	a
	25	9.5	Oct.	March	30.5	2.5	0.4	
	50	7.0	—	—	—			
Mean of Q_0					101.2			

* unreliable

a complete material

b inclusive of interpolated temperature data

c amount of heat exchange is obtained by graphical estimation

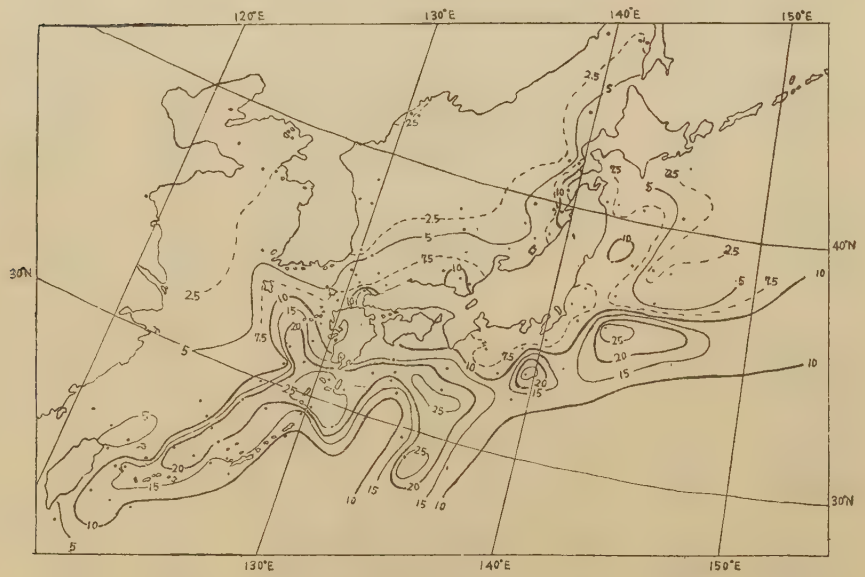


Fig. 5. Geographical distribution of annual mean eddy thermal diffusivity in 0–25m layer of the sea around Japan. Observational stations indicated by dots.

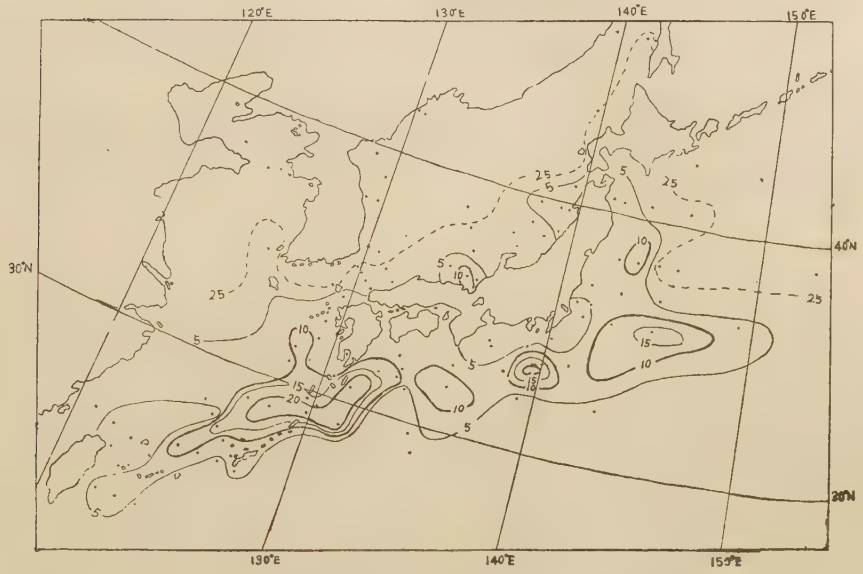


Fig. 6. Geographical distribution of annual mean eddy thermal diffusivity in 25–50m layer of the sea around Japan. Observational stations indicated by dots.

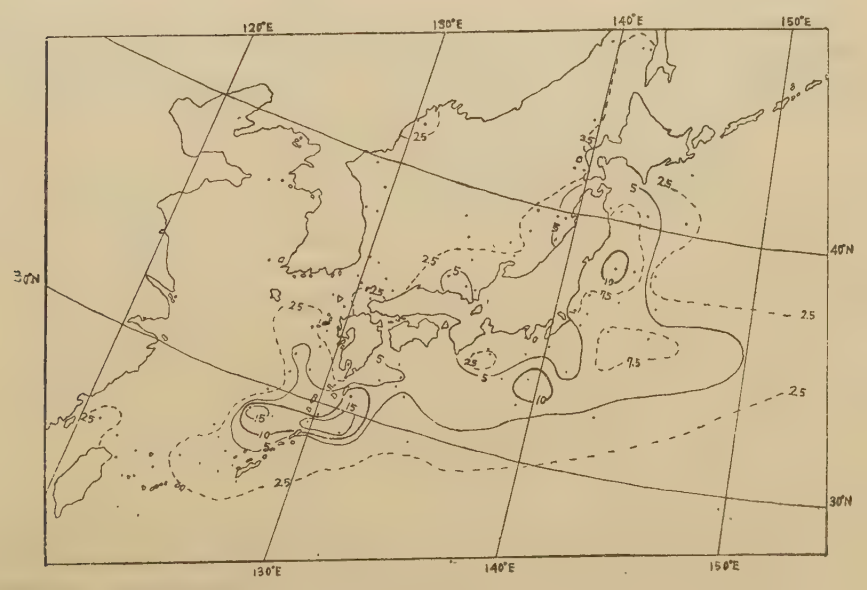


Fig. 7. Geographical distribution of annual mean eddy thermal diffusivity in 50–100m layer of the sea around Japan. Observational stations indicated by dots.

where $A(z)$ and $B(z)$ are the coefficients of

$$\theta(z,t)=\bar{\theta}(z)+A(z)\cos\sigma t+B(z)\sin\sigma t \quad (\sigma=\frac{2\pi}{T}).$$

Taking every three months' observational data, he showed a practical way to find k by his method. A more convenient form for practical applications can be found in Fjeldstad's formula of

$$k=\frac{n\sigma\int R_n^2\,dz}{\frac{\partial\delta_n}{\partial z}R_n^2} \quad (\text{say } k_F),$$

where R_n and δ_n are the amplitude and phase angle of the n-th harmonic term respectively, which can be found from the observed data. It must be borne in mind that these methods also begin with the physically illogical principle.

Picking 8 complete materials up from our collected data employed in the present study, k_A and k_p by the prevailing method and k_F by Fjeldstad's method are calculated and listed in Table 15. We can see the appearance of the disagreements of the numerical values between k_A and k_p and of somewhat irregular vertical profiles of k_F. Such irregularities should be attributed to the inadequate methods.

Unreliable values of k obtained by the prevailing method are found also on K. Suda's paper[11] which discusses the geographical distribution of eddy thermal diffusivity in the sea around Japanese Islands.

7. Conclusion

Introducing a different method for finding the annual mean value of eddy thermal diffusivity in lakes or ocean on Namekawa's very excellent but not well-known paper, entitled "A theory of the annual variation of temperature of ocean or lake" published in 1935, the present author devices a practical working procedure applicable to the complete monthly data and incomplete data (seasonal, and summer and winter observations) showing the annual variation of water temperature.

The annual mean values of eddy thermal diffusivity of 10 Japanese and 7 European lakes and 113 points of the sea surrounding Japanese Islands are calculated by this working method, and the author gets the following facts:

(1) The surface values of annual mean eddy thermal diffusivity for the lakes are generally low compared with those for the sea, i.e. the values are below 2.6 (c.g.s.) even inclusive of unreliable exceptions for the lakes, while for the sea, the maximum value of these reaches to circa 30 (c.g.s.).

(2) The annual mean eddy thermal diffusivity generally decreases with depth both in the lakes and in the sea, but this tendency is not conspicuous for lakes.

(3) The geographical distributions of the annual mean eddy thermal diffusivity in the surrounding sea of Japanese Islands are given. In the region of the Kuroshio or the Japanese Current, these values are especially high (10–29.9c.g.s. for surface layer) and comparatively low values (below 5c.g.s. for surface layer) are found in the northwestern part of Japan Sea, in Yellow Sea, and in the northern part of East China Sea.

Table 15

The annual mean eddy thermal diffusivity calculated by other methods (cm^2sec^{-1})

Station	Depth (m)	k_F	k_A	k_p
Lake Biwa	0	1.9	2.9	2.6
	10	0.1	0.2	0.6
	20	0.9	0.1	8.0
	40	3.8	0.6	17.5
	70	—		
100mi. NW off Naha	0	— *	29.5	— *
	25	97.0	— *	20.7
	50	11.1	16.2	11.6
	100	22.9	1.3	— *
	200	—		
100mi. S off Shiono-misaki	0	635.1	31131.3	6917.6
	25	119.8	11.3	54.7
	50	18.6	9.3	81.7
	100	197.7	14.7	— *
	200	—		
40mi. SE off Goza-misaki	0	11.4	17.7	13.2
	25	9.3	5.0	15.4
	50	10.0	2.9	15.8
	100	28.0	1.6	— *
	200	—		
Fixed Ship Station "X"	0	31.2	52.8	33.6
	25	7.0	2.7	4.0
	50	6.7	5.7	6.9
	100	6.6	5.7	2.5
	200	—		
Tsushima Strait	0	8.3	20.7	9.7
	25	26.8	17.7	327.7
	50	48.9	10.3	69.3
	100	—		
30mi. NW off Tateishizaki	0	19.5	43.5	20.4
	25	16.5	26.1	23.0
	50	35.5	7.0	3320.7
	100	444.0	3.1	— *
	200	—		
30mi. W off Kamo	0	10.7	26.7	8.1
	25	10.2	7.3	13.1
	50	27.3	12.7	88.3
	100	45.0	2.0	— *
	200	—		

* Calculation is impossible because the amplitude increases or the phase advances with increasing depth.

In the course of this calculations, the amounts of annual heat exchange at the specified levels are listed in the working sheets. This amount itself shows the degree of annual thermal stirring of the portion in the lake or the sea in question, and its surface value gives the output quantity of heat from the lake or the sea surface during the whole cooling stage. It is noticed, in this paper, that the introduction of this quantity as a climatological parameter may give serious contributions to the climatological study.

As for the quantities in question, the following facts are found in the present study:

(1) The surface value of the amount of annual heat exchange for the lakes generally increases with latitude as far as we concern.

(2) Its mean value for the lakes is circa 30×10^3 cal which is about 17 times as much as that for the ground surface, showing that the lakes make the heat-preservatories.

(3) Its mean value for the sea is circa 100×10^3 cal which is about 3 times as much as that for lakes.

(4) The amount of annual exchange of heat generally decreases with depth in both lakes and the sea, especially for lakes the damping with depth nearly obeys the exponential law.

Acknowledgement

The author wishes to express his sincere thanks to Dr. T. Namekawa, Professor of Kyoto University, for his encouragement and helpful advice throughout the course of this work.

References

(1) Namekawa, T., A theory of the annual variation of temperature of ocean or lake, Mem. Coll. Sci. Kyoto Univ., 18, 5, 1935.

(2) Jour. Shiga Pref. Fish. Exper. Station, 1937–1942, 1948–1956.

(3) Report of Hydrographic Observations in 5 Lakes around Mt. Fuji, Central Met. Obs. Japan, 1950.

(4) Umi-to-Sora (Jour. Mar. Met. Soc. Japan), 10, 1930; 13, 1933; 14, 1934; 15, 1935; 17, 1937; 18, 1938.
Geographical Review, 4, 1928.
Jour. of Oceanography, Imp. Mar. Obs., Kobe, 5, 1933.
Jour. Kagoshima Pref. Fish. Exper. Station (in press)
Jour. Kagoshima Natural Histor. Soc. (in press)

(5) Monti, R., La Limnologia del Lario, Roma, 1924.
Intern. Rev. ges. Hydrob. u. Hydrog., Biol. Suppl., 4, 1912.
Intern. Rev. ges. Hydrob. u. Hydrog., 15, 1926.
Zeit. f. Hydrol., 4, 1928.
Arch. f. Hydrob. Suppl., 3, 1924.
Forel, F. A., Le Léman, 1895.
Geographical Review, 4, 1928.

(6) Oceanographical Investigation, Imp. Fish. Exper. Station, 1–74, 1918–1950.
Oceanog. Report, Central Met. Obs. Japan, 2, 1951.
Geophys. Review, Central Met. Obs. Japan, 1951–1952.
Jour. Mie Pref. Fish. Exper. Station, 1954.
Jour. Kagoshima Pref. Fish. Exper. Station, 1950–1955.
Report Oceanog. Obs., Kagoshima Univ. (in press).
Jour. Met. Research, Central Met. Obs. Japan, 3, 1952.
Jour. Imp. Fish. Exper. Station, 5, 1934.
Data Oceanog. Obs. Eastern Tsushima Strait, Fukuoka Pref. Fish. Exper. Station, 1953.

(7) Climatological Table of Japan, Central Met. Obs. Japan, 1942.

(8) Ruttner, F., Hydrographische und Hydrochemische Beobachtungen auf Java, Sumatra, und Bali, Archiv f. Hydrob. Suppl., 8, 1931.

(9) Jeffreys, H., On turbulence in the ocean, Phil. Mag., 39, 1920.

(10) Fjeldstad, J., Wärmeleitung in Meere, Geofys. Publikaj., 10, 1933.

(11) Suda, K., On the dissipation of energy in the density currents (2nd paper), Geophys. Mag., 10, 1936.

灯に集まる魚群の立体的記錄例について*

黒木敏郎・(故)中馬三千雄

An Example of Three-dimentional Records of Fish-school attracted by Underwater Lamps

Toshiro KUROKI and Michio CHUMAN

Using vertical and horizontal echo-sounders, the authors got three dimensional records of shoals of *Engraulis japonicus* in lift nets (Hachida-ami) fishing on Kagoshima Bay.

As the results of calculation through these records and actual catches, they knew that the catching rate was about 6% in this fisheries and that 98% of this fish-stocks was caught in a half year. This phenomena must have the most serious means in the fisheries on this bay.

It is belived that the method to confirm the conditions of fish schools by vertical and horizontal fish-finders must be the best way to investigate the fish-stocks in a fishing ground.

緒　　言

魚群の集合様態を立体的に把握するためには普通（垂直）の魚群探知機のみでは勿論不充分であるし，最近使用し始められたソーナー（P.P.I. 方式)[1] のみでも亦不可能である。送受波振動子の指向角中心線が魚群の中心附近で交叉するように配慮された2つ（垂直と水平）の魚群探知機が違った2点よりはほぼ同時刻に操作された時にようやく魚群の立体的様態が記録される筈である。

本報においては，故中馬助教授と共に水平魚群探知機研究[2] の一環として彼の生前に得つつあったこのような立体的記録が未印刷のまま散逸する虞れあるを憂えその一例を採ってここに記載するものである。

試験実施の概要

鹿児島湾内八田網の集魚灯に集まった魚群を対象として1954年10月31日夜より11月1日朝にかけて魚群探知を実施した。湾内八田網では一統につき制限電力200W の集魚灯2ケを点じ頃合を見て網の中央へ導き寄せ一灯とするのが普通のやり方である。

垂直魚群探知機としては八木良右衛門氏（鹿児島県古江漁協）所有の誘導船第5泰良丸(7.5トン，35HP)に装備された普通の魚群探知機（海上電機 K.K. 製202型）を用い，水平魚群探知機としては鹿大水産学部実習船隼人丸（11トン，40HP）に装備された試作魚探機 CM－5X型（科学技術研究所製，水平 300m 指示）を使用した。

第一回目（前半夜，10月31日21.00～24.00)は薩摩半島側平川沖において，第二回目(後半夜，11月1日03.00～05.20）は同喜入沖において実施した。(Fig. 1 参照)　試験に供せられた八木氏所有の八田網は綿糸製の1号網とアミラン製2号網との2ケ統より編成され，両者同一漁場で常に接近して敷設せられた。

記錄の結果と考察

第一回（前半夜）では魚群薄く灯つきも悪かった為か2ケ統合計でも僅か70貫しか漁獲

* 日本機械学会第601回講演会（1955，於東京）発表。

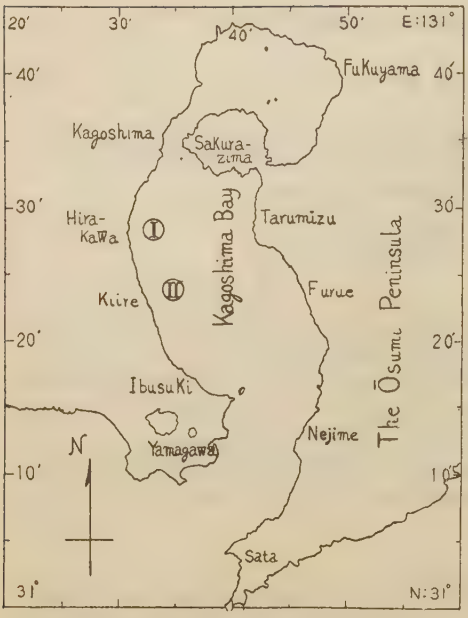
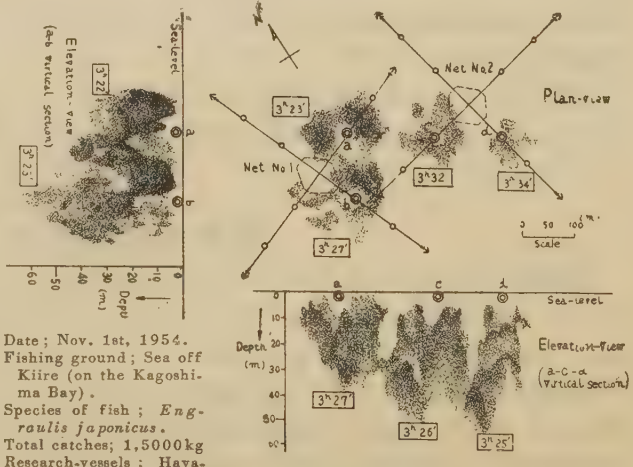


Fig. 1. Fishing grouds on where three dimensional fish- finders were operated

されなかったが，第二回（後半夜）では同漁期中最高の漁獲として約4000貫のカタクチイワシが得られた。Fig. 2 に掲げたのは後半夜における魚探記録（垂直・水平記録例写真参照）を同一紙面上に整理して示した魚群態の一例である。図中◎印は集魚灯の位置を示し十字に画かれた線は張り網を，各統の網につけられた○印のものはウケナワの浮き樽の位置をあらわすものである。水平図の距離と垂直図の水深とでは縮尺率が違うから実感を補正して Fig. 2 を見る必要がある。

何しろ暗夜の海面で数隻の他統の網の舟をも避けつつ旋回せねばならぬので垂直と水平の魚探をうまく同時に同一点へ向け記録することは至難であった。従って両記録も図で判るように時刻が数分ズレているがこれは 500m 程度以上有効であるような P.P.I. 方式のソーナーが完成する迄は仕方のない事と言わねばならない。

これらの図形を通覧して気の付く事は集魚灯の近傍10～20m以内では魚群が薄いということである。従来の垂直魚探記録でもこの事は言われており，この場合でも亦垂直記録に明瞭に出ているが，水平記録にも之がよく認められることは，魚群が過大の照度範囲には寄らないことを明らかに示すと同時に，この水平魚群探知機が正水平に指向中心を保持してもよく波面反射雑音を消去し得て対象物たる魚群を明瞭に記録し得るような高性能の水平魚探機であった事を意味するものであろう。



Date ; Nov. 1st, 1954.
Fishing ground ; Sea off Kiire (on the Kagoshima Bay).
Species of fish ; *Engraulis japonicus*.
Total catches; 1,5000kg
Research-vessels ; Hayato-maru (11ton), Tairyo-maru No. 5 (7.5 ton).

Fig. 2. One example of records by three dimensional fish-finders (3h20′～3h40′ am.)

この試験で特に注目されるべき知見は魚群の平面図形が刻一刻と変化することである。隼人丸は1ケ統の網囲りを約10分間で，2ケ統を同時にめぐる時には約15分間で一周したのであるが，同じ位置で同じ方向へ水平魚探を向けた時の記録が10分～15分前後の記録と似ている例は殆ど無かった。平面的な魚群像がこのように速く変化することは従来考えられなかったことで，10分程度でもその様相がガラリと変るという記録の結果より考えれば

少くともこの集魚灯に集まったカタクチイワシ群は相当な游泳速度で離合集散し活発な運動を行っているものと推察されるのである。

以上のような魚群の立体像から我々は表に示すような手順により魚群密度や漁獲率を知ることが出来る。表中（ ）内の数字はそれぞれ欄の番号を示す。八田網が引揚げられる際海水をすくい上げる平面積を網の設計図より略算すると約 3500m² となるし，魚群の占める立体空間の容積は魚探記録から大体算出されたものである。当夜漁獲されたカタクチイワシは 1 尾当り殆ど 4 匁に粒が揃っていたので，尾数は実漁獲高から計算される。魚群の網に乗る率は魚探記録の平面図形からのみ求めたのであるが，実際には網揚げの時逸出する魚も相当多いと思われるので，それを約 3 割と見て魚群密度を計算し直したのが最下欄である。これによれば前半夜では 2m³ に 1 尾，後半夜では 1m³ に 9～10 尾という程度の密度であったことを知る。

Table of various value in the calculation

No.	Mattters of calculation	Process	Date (hour. minute)	31st Oct. (21.00～24.00)	1st Nov. (03.00～05.20)	
			Net	Net No. II (Amilan)	Net No. I (Cotton)	Net No II (Amilan)
(1)	魚群網乗り率 Rate of fish school, swimmed in the net	through records		0.5	0.8	0.7
(2)	実効面積〔m²〕 Effective area	3500×(1)		1750	2800	2450
(3)	魚群平均厚さ〔m〕 Mean value of fish school thickness	through records		20	30	25
(4)	実効体積〔m³〕 Effective volume	(2)×(3)		35000	84000	61000
(5)	漁獲高〔貫=3.75kg〕 Weight of catch	actual value		50	2500	1500
(6)	漁獲尾数 * Number of fish, caught	$(5)\div\frac{4}{1000}$		12500	630000	380000
(7)	魚群密度〔m⁻³〕 Density of school	(6)÷(4)		0.36	7.5	6.2
(8)	密度比 Relative density	(7)÷7.5		0.05	1.00	0.83
(4′)	30%, missed [assumption] 体積〔m³〕 Volume	(4)×0.7		24500	58800	42600
(7′)	30%, missed [assumption] 密度〔m⁻³〕 Density	(6)÷(4′)		0.5	10.4	8.9

* Mean weight of one fish in these catch was 4匁($=\frac{4}{1000}$貫≒15gr).

一方記録によれば前半夜2号網附近に映じた魚群の立体積は最大$3\times10^5m^3$と算定され，その映像は網揚時より濃いので魚群密度を0.7尾/m^3と見ればその総尾数は約20万尾となりその時の漁場附近の魚群に関する限り漁獲率は約6.2％となる。

後半夜両網附近に映じた最大魚群体積は約$(18\sim23)\times10^5m^3$と算定される。その密度を8～9尾/m^3と見れば総尾数は約1600万～1800万尾となり漁獲率は1号・2号両網合わせて5.6～6.3％程度である。全然逸出が無かったと仮定しても総尾数が減じて漁獲率は漸く8～10％に達する程度であるから八田網のような敷網漁法ではたとえ好い集魚灯を用いた場合でも500m平方程度の海面から魚群の20％を獲れると考えるのは過大評価であり，逆に相当薄い魚群と遭遇した場合でも集魚灯を用いる限り2～3％というような過小評価の漁獲率を想定すべきではないと言えるのではなかろうか。

結　び

鹿児島湾内のカタクチイワシ群は年間春秋2回又はそれ以上資源を添加されていると言われる。本文で述べたように，湾内漁場の一局所500m平方の海域に2ケ統の八田網が敷かれ6％の漁獲を得るのが定常で且資源が維持出来るものとするならば，半年6ケ月間に1月平均10回出漁した場合残存資源は2.5％に減耗する事となる。湾内外間の資源流出入がないと仮定すれば半年間の総漁獲高は全資源量の97.5％を占めることになり，資源は殆ど枯渇への境界線をさまよっている訳であって，残された雌成魚一尾当りの産卵で次期漁獲対象群への添加が少くとも80尾以上行われなければ資源維持は困難な筈である。年々の総漁獲量に大幅の変動のあるのも蓋し当然であろう。

このような推算の正否は仮定の正否に左右されるものであるが，本文に述べたような立体的な漁獲実情の調査研究がこの種の漁業の安定化やその資源推定などに缺くべからざるものである事には誰しも異存はないであろう。水平・垂直の両魚探を組合せた資源の調査方法が確立される事を切望する所以である。

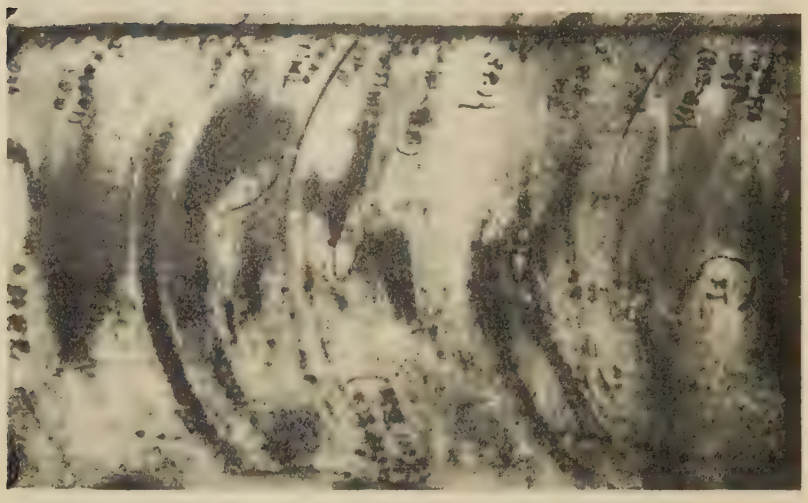
終りに，本研究に万幅の協力を惜しまれなかった古江漁協八木良右衛門氏並に泰良丸乗組員各位，及び本学実習船隼人丸の船長以下各員に対して深甚の謝意を表する次第である。

文　献

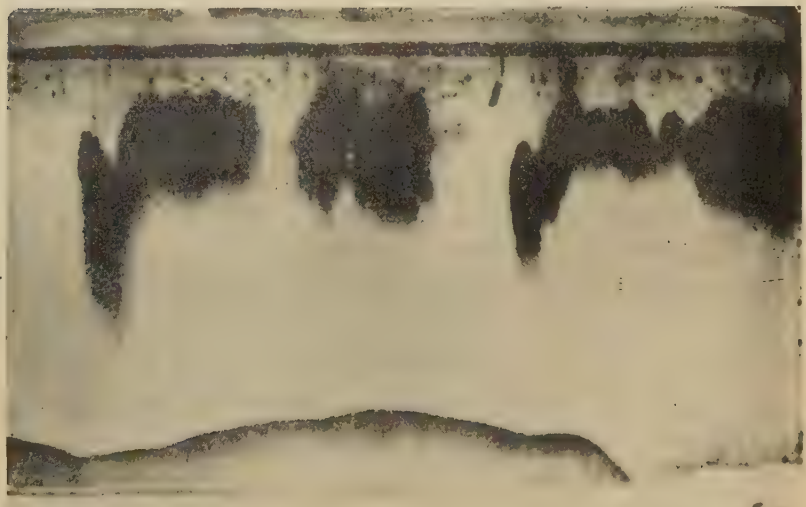
1) 橋本他: 漁船研究技報（水産庁）No. 8 (1956), No. 10 (1957).
2) 中馬他: 鹿児島大学水産学部紀要，3巻1号 (1953), 3巻2号(1945).

Plate. Examples of actual records

(a) Record by the horizontal fishfinder



(b) Record by the virtical fish-finder



電戟捕鯨用のパイプ銛発射機と同電纜ロープとに関する研究*

黒木敏郎・奈良迫嘉一

On the Projector of a Pipe-harpoon and its Cable-rope for Electrical Whale-catching

Toshiro KUROKI and Yoshikazu NARASAKO

The authors, in this paper, give outlines about the apparatus of the pipe-harpoon projector for electrical whale-catching and about the results of its tests.

It is cleared that the shock-waves have transmitted in 37.4 milli-sec. through copper lead-wire from its harpoon-tieing end to the other end and that the harpoon flys only 5 meter during this period.

The impact which occures on the cable-rope is given as follow;

$$P=v\sqrt{\rho Eg}$$

where P=impact, v=the component of harpoon velocity in the direction of the rope veered away, ρ=mass of copper wire in unit length, E=Young's modulus of copper, g=gravitational acceleration.

Using this formula, it is calculated that the impact comes up a large value ranging about 2 tons in thick cable-rope for an old-type electric harpoon, and, even in our thin cable-rope, the impact is 354 kg.

In order to keep off the knots on a copper lead-wire by shock, the authors devised the new type connector of lead-wire in which electricity was connected perfectly and mechanical shock-waves were intercepted. And, when these connectors were used, the tests were satisfactory to project harpoon and cable-rope.

緒　　言

電戟をもって魚類・鯨類を捕殺する方法は今までにもしばしば研究され試験もされて来たが,[1] 低周波パルスを用いれば刺戟生理学的にも電力縮減という技術上の点からも最大の効果を生ずる事が分明している以上,[2] その関連器材にも相当な変革を来たしてよい筈である。本報では捕鯨を目的として設計されたパイプ銛の発射機とその電纜ロープとについて述べたい。

筆者等は水産庁応用研究費の補助を受けてこれ等の研究と実用化とに努力しつつあったが，昭和31年1月の研究室火災により諸資料・器材を焼失しこの研究実用化試験を中絶するのやむなきに至ったものである。その後残存する一部資料を回収復写し得たので，正確を期し難い点が多々ある事を省みずここに発表し，之に関心を持たれる諸彦の御参考に資すると共に，種々御支援御鞭撻を賜った水産庁当局及び鹿児島大学水産学部関係者特に敬天丸船長以下乗組員各位に対して深甚の謝意を表する次第である。

器 材 の 概 要

関連器材は，電源・銛発射機・銛・電纜ロープの4主要部より成り，これを練習船敬天丸（265総トン）の船首に装備し得るようにした。

電戟電源装置：約 40cm×40cm×60cm のほぼ等大のケース3箇から成り立つ。第一函

* 日本機械学会第614回講演会（1956. 2. 25. 於東京）発表

には主として昇圧（兼マッチング）用コイルを収め，第二函には大容量高耐圧蓄電器を，第三函には遠隔操作リレー・安全スイッチ・低周波接点（モーター駆動）などの要部を収めた。電力条件は次の通りである。

〔入力側〕；交流100V，7Aまで（又は蓄電池 24V，30A まで）。

〔出力側〕；瞬間最高電圧 500V（1000V 切換え可能），瞬間最大電流 600A まで，平均電流1.3A 以下，平均出力 650W 以下，パルス時間幅約 3/10000sec，周波数毎秒５～７サイクル。

銛発射機：外観は Fig. 1 に示すように砲の形であるが，発射方式は従来のものと全く異なり，パイプ型銛を使用するためガス除け外筒を設けている。砲身相当の部分は外径30mm

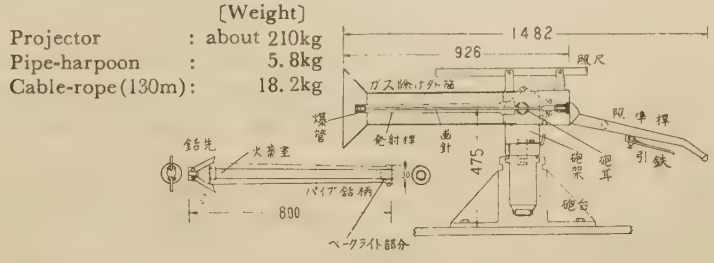


Fig. 1. Pipe-type harpoon and its projector

でその先端に爆管を装着し，長い撃芯でこれを起爆させる。発射薬としては１号方形無煙火薬19.5grを用い，純絹製薬包に入れて之を銛側（パイプ銛の奥，先端爪の直後孔部）へ装填する。砲台下端より砲口までの高さは 475mm，両砲耳間最大幅 380mm，前後最大長 1482mm であって，本機並に銛は高知市ミロク工作所において製作されたものである。

銛：全長 800mm，重量 5.8kg. 柄部をパイプ型（孔内径30mm）としたのが特徴である。電纜破断防止（発射初期より曳張力を掛け得られる）・電力漏洩縮減（外面を絶縁塗装し得る）・導電線結着確実化（外部から直接結着し得て，スリップリングを使用したり，結着部を砲腔へ入れたりする必要がない）などの目的をもって本型式を採用した。銛頭部は自由開閉爪を両側に抱いて居り爪の軸ボス部が自然平頭銛の形を形成する。絶縁塗装を施さず電極としてのその実効面積はほぼ260mm^{2}となる。柄部外表には絶縁塗装が施され且つ銛後端が鯨体外海中へ没しても電気洩れが最小となるようにパイプ孔内側の後端から30mmだけは硬質ベークライトがねじ込んである。

電纜ロープ：芯電纜の導線断面積は約 2mm^2（0.25×37）でビニール被覆試験耐圧3000V，電気抵抗は 100m につき約 0.9Ω である。この電纜外周に30ヒロあたり80匁のタジマ麻８本を撚り無しで添わせ，綿糸（10本×3子）でセキヤマ捲きしたものを用いる。その仕上り外径は約 12mm となり，重量は乾燥状態で 15.2kg 海水に数回侵漬した後では18.2kgとなった。試射（６発）後のものについて破断試験を行った所（乾燥状態で）最大張力 1520kg を示した。

試験結果とその考察

地上試射は主として鹿児島市天保山甲突河畔において前後６回25発（試作完了時高知市で行った１回分をも含む）を実施した。その結果得られた各種条件下の弾道曲線 4 例を

Fig. 2 に示す。

電纜を用いずロープのみを銛に結着して射てば，ロープの柔軟な場合には弱いものでも切れないがかたい（剛い）ロープの場合には破断する。例えば古いカッチ染め綿ロープ

Trajectory No.		I	II	III	IV
Height of muzzle (m)		1.5	3.6	3.75	2.91
Max. gas-pressure (kg/cm²)		2240	1450	1410	810
Projection angle against level		+3°	−30′	−11.′5	±0
Rope	Materials	hempen rope, 6φ	hempen rope, 4.5φ	hempen rope, 11φ×5 and elect. cable	hempen rope, 12φ×8 and elect. cable
	Weight (gr/m)	25	15	88	140
Detonator		percussion-plug	snap-cap	snap-cap	snap-cap
Powder	smokeless brack	16gr(1#) 10gr	16gr (1#) 10gr	16gr (1#) 5gr	19.5gr(1#) 0
Range shot (m)		80	74	54	55
Date		Oct. 31st, ′54.	Mar. 15th, ′55.	Oct. 22nd, ′55.	Dec. 11th, ′55
Marks		—○—	·····●·····	—△—	— —□ —

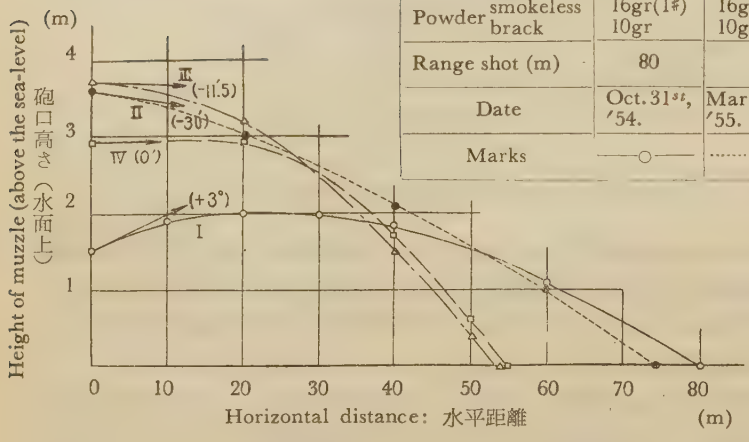


Fig. 2. Four examples of trajectories

（6匁）を使用した時にはその引張り強度は僅か60～120kgであったにかかわらず切断しなかったが，新しいアミランロープ（250デニール，7匁）を使用したところその乾燥強度は200kg もあったのに一発で切れてしまった。

電纜を綿糸でセキヤマ捲きしただけのもの（破断力 52kg で，これは芯に用いた黄色塩化ビニール被覆 0.18×50 電纜の引張強さそのものと殆ど変らない。）で射つと当然切れてしまう。これら切断の生ずる理由は発射と同時に衝撃力が働くからに外ならない。古ロープ（電纜なし）で切断を避けられるのはロープの柔軟さや伸びがこの衝撃力を吸収するからであろう。

電纜に麻紐を添わせて引張強度を増加すれば電纜も切れない。しかし衝撃力は避け得られず，ロープの射出余りが砲架附近に残る程の近射程の場合でも，外観上不変であるのにかかわらず芯電纜の撚り銅線にコブを生じ 3～4cm の規則的な間隔の凹凸部が生ずる。これは電纜ロープの麻を剝いで電纜のみをしごくようにして調べてみると絶縁被覆を透して指先に感知される程度である。（写真参照）それが銛に近い部分のみならず砲架側の射ち残り終端部に到るまで生ずるということは，麻やビニール被覆に関してはともかく，少くとも銅線に関する限り全長に亘って衝撃波が伝わることを意味する。もっと明確に表現すれ

ば，電纜ロープを構成するもののうち最も硬くて（弾性係数大で）均質なのは銅線であって麻や被覆ビニールは塑性的で不均質なのであるから，生ずべき衝撃弾性波は銅線のみを通って縦波として末端へ及ぶものと考えられるのである。

今，導体の弾性係数を E，密度を ρ，弾性波の進行速度を V とすれば，よく知られた材料弾性力学の式として V は次式で与えられる。

$$V=\sqrt{E\cdot g/\rho} \quad \cdots\cdots(1)$$

撚り線程度の軟銅では $E=11.0\times10^9\ \mathrm{kg/m^2}$, $\rho=8890\ \mathrm{kg/m^3}$ であるから $g=9.8\mathrm{m/sec^2}$ として計算すれば $V=3480\mathrm{m/sec}$ を得る。我々の用いた電纜ロープの長さは 130m であったからこれに衝撃が加わってより（砲口より銛が射出されて後）僅か 0.0374sec 経った時には既にロープ後端まで衝撃波は到達していることになる。これは着弾までのほぼ 1/20 の時間であって，その間銛は 4～5 m しか飛んでいない。

銅線（品川電線製，0.25×37）に生じたコブ（凹凸部）の間隔は約 4cm であってこれが衝撃波の一波長でありその分の質量が撃力を生ずるものと考えられるから下式より撃力を算出することが出来る。

$$m(v-v_0)=P\cdot t \quad \cdots\cdots(2)$$

ここで，m は関係質量，v_0 は初めの速度(発射前静止しているから $v_0=0\mathrm{m/sec}$), v は撃力作用後の速度，P は作用撃力，t はその作用時間である。実測の結果では一波長 $\lambda(=0.04\mathrm{m})$ 内の銅線重量は $m=0.74\mathrm{gr}$ であった。速度 v としては，衝撃の掛る瞬間における銛の進行方向とロープの跳び上る方向とのなす角が約 38° であった* から銛初速 80m/sec を考えに入れて $v=80\times\cos38^\circ=54\mathrm{m/sec}$ とする。撃力の作用時間は弾性波が一波長を伝わる時間と見做されるから

$$t=\lambda/v \quad \cdots\cdots(3)$$

であって，$t=0.04/3480=1.15\times10^{-5}\mathrm{sec}$ となる。このような諸数値を (2) 式に代入すれば，この場合の撃力としては $P=354\mathrm{kg}$ という値を得る。** 前述のように麻を添わせてセキヤマ捲きした電纜ロープの引張強度は約 1520kg であるから安全係数は 4 程度となる。

所で，$m=\lambda\rho$ であるから，これと(3)式とを(2)式へ代入して $v_0=0$ なることを考えると

$$\lambda\rho(v)=P\cdot\lambda/V$$

整理して (1) 式を入れると次の関係を得る。

$$P=v\cdot\sqrt{\rho Eg} \quad \cdots\cdots(4)$$

即ち電纜ロープに作用する撃力は，電纜に生ずるコブの間隔（弾性波の一波長）を知らなくても上式 (4) より求められることになる。

我々の用いた別の電纜(昭和電線製，ポリエチレン被覆，0.18×30；コブの間隔 5cm となった）では $P=135\mathrm{kg}$ となり，第七文丸 (1951)[1] で交流 300V 電源により試みられた電

---

* 地上試射での写真資料を焼失したのは残念であったが，船上試験でロープの跳る姿勢を写した写真が残存していたので複写して本文末に掲げた。

** 銅線と被覆ビニールとの間，更に麻との間には多少の摩擦が作用してこの撃力に関係するであろうからこの値はもっと高くなる事も考えられる。

気捕鯨用電纜* については P=2,120kgとなる。

衝撃力が上述のように銅線を主体として生ずるものならば，電纜破損の故障発生に対してそれが撃力に起因するものである限り防止する方策が考え出されてもよい筈である。その試みの結果を Plate I (A), (B) の軟 X 線写真に示した。これは電纜に「挿込み接続」の箇所を設けるという着想に基く。すなわち，銅線の中途をわざと切断しその部分をヴィニールパイプ内で再びつなぐのであるが，両線は機械的には(引張り強度零となるように)接触させてあるだけにとどめる。電気的な接続はこれをおろそかに出来ないのでパイプ内へ“アクアダック”(炭素 15gr, タンニン酸 9gr, NH_4OH1gr の割で混じたもの) を充塡した。この機構は予想外に有効で銛から 2m 以内での接続点も破壊されずその点より後部の電纜にコブの生ずることも殆ど防止し得た。〔Plate I (C) 参照〕

芯から麻の外部へ導き出した接続点は離れたので〔Plate I (B) 参照〕，この用法によらず銛交換を簡単に行う手段を確立すればよい訳である。

その後実施した海上試射 (Plate II 参照) においてもこの「挿込み接続」は有効であって合計11発の使用後も何等異常を認めなかった。

全般的に見てパイプ銛発射機も電纜ロープも実用性充分で，腔内圧 1600kg/cm^2 (1号方形火薬 19.5gr 使用) において好調，60～80m 程度の射程では弾道も素直で命中率も甚だ良好であった。ただ火災により銛 (6本全部) やその装着工具・電戟電源一切を全焼したため実際の近海捕鯨実用試験まで実施し得なかった事について遺憾の情を表すると同時に協力支援を惜まれなかった関係者各位に対して深く御詫び申上げる次第である。

要　　約

本報には，電気捕鯨における電纜ロープの衝撃破損を避ける目的で考案されたパイプ銛発射機とその試射結果との概要が述べられている。

試験中に生じたロープ内電纜のコブから，瞬間衝撃波は銅線内を発射直後 0.0374sec 以内に末端まで伝わる事を知った。それよりロープに加わる衝撃力は次式で求められることを導出した。

$$P=v\sqrt{\rho Eg}$$

ここに P; 撃力，v; 銛速度のロープ方向成分，ρ; 銅線の単位長さの重量，E; その弾性係数，g; 重力の加速度である。この式によれば，旧式交流使用電気銛の電纜ロープでは 2ton 以上，我々の細いロープでさえ 354kg の撃力が生ずることになる。

衝撃による銅線のコブの出来るのを防ぐためアクアダックで切り接ぎした部分を置いた所その接目から後へは衝撃波の伝達することを防止し得て故障が生じなくなった。その情況を Soft-X 線撮影結果で示した。

文　　献

1) 黒木：電戟漁法，技報堂出版 (1955).
捕鯨装備改善委員会：電気銛実施試験報告 (1951).
2) 黒木：日本水産学会誌，16巻，4号(1950)；18巻1号(1952).

---

* 故岩本千代馬氏よりその電纜ロープの一部を寄贈された。ここに附記して同氏生前の御好意に心から感謝する次第である。

Plate I. Photographs of cable-ropes by soft x-ray

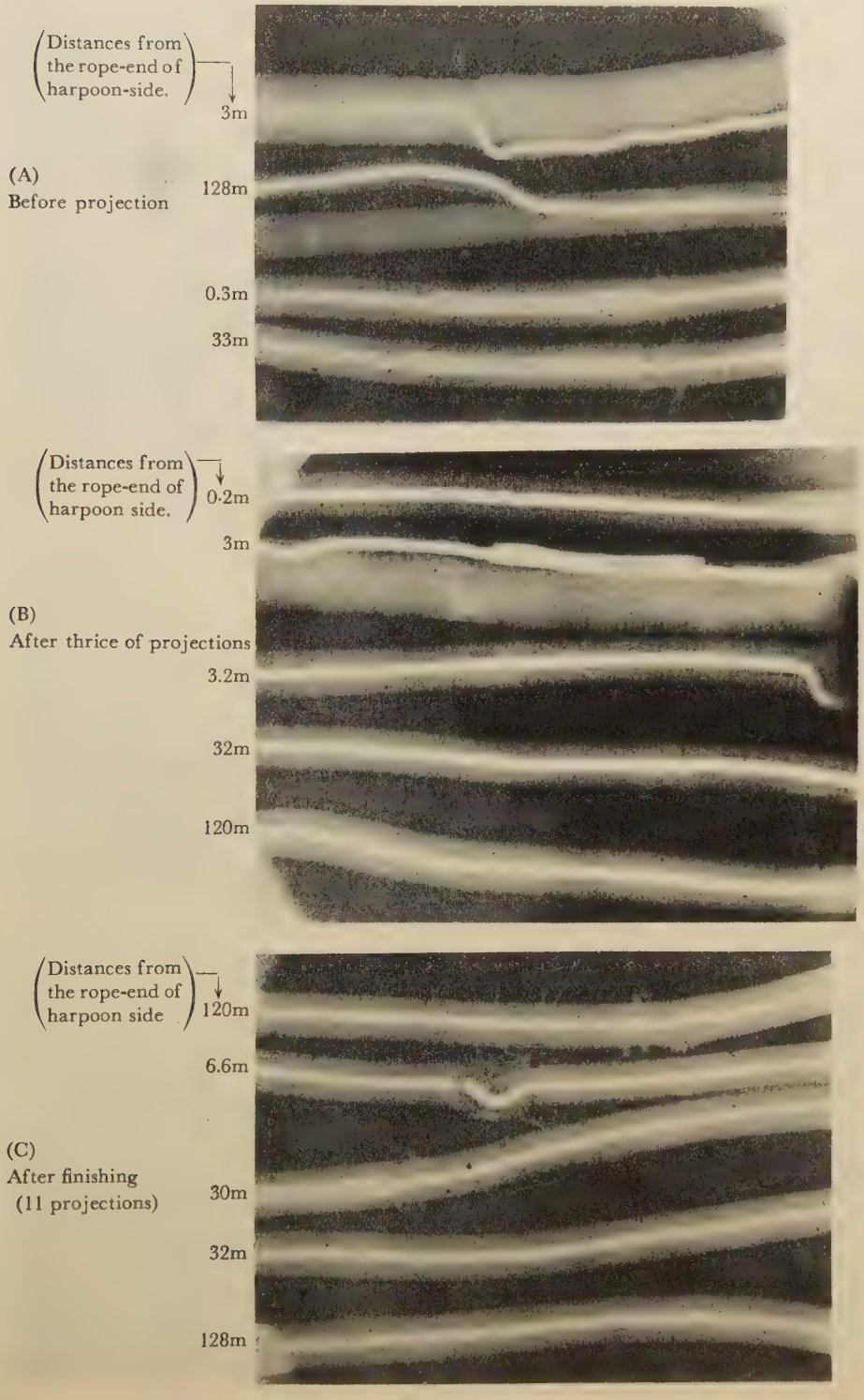
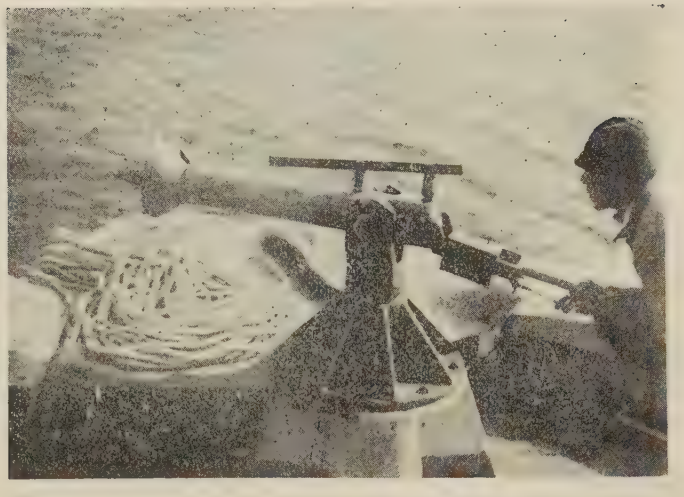


Plate II. Scenes of projections

(A) Just before a projection



(B) Immediately after a projection

(Give attension to the moving of cable rope.)

(C) Projector on the bow of Keiten-maru

(The ship are going astern, and a target are pulled by a rope from the bow.)

魚類生態に関与する水中音の基礎的研究（第II報）

——水中で発するヒモの音について*——

黒　木　敏　郎

Fundamental Studies on the Relation between Underwater Sound and Fish Behaviour (II)

——About the Sound by Ropes in Water——

Toshiro KUROKI

In this paper, the author describes about the results of the experiments to sound ropes in the water on various conditions. It was found, conclusively, that the calculatins through Strouhal's number 0. 2 are right only in the case of ropes stretched, and that the one through S-number 0. 125 are more suitable for the explanation of experimental results in the case of ropes unstrung.

It must be recognized that, in any case, the sounds which are caused by unstrung ropes in the water are very low unexpectedly, and that even such low frequency sounds as the under-water ones by ropes may be an impotant factor for fish behaviour.

緒　　言

魚類の感覚中その生態に最も重大な関係を持つと思われる聴覚の特性に関しては既に発表した[1]が，聴覚による音源方向判断その他を研究するには先ず水中音そのものを充分に知らねばならない。本報及び後続の報告に述べるものは故中馬助教授の研究[2]につづくべき内容をもっている。研究者は替り全器材は焼失し資料もまた逸散したけれども，このような研究こそは魚類聴覚生態解明への必須段階であると信ずるので，残存の資料をあつめ不足の箇所は器材を再製作追試して補充の上ここに発表するものである。

そもそも電線や細い棒に気流が当って発する音は昔からエオルス音（Aeolian tone）と呼ばれて色々研究されて来た。しかし水流中の物体振動から発生する音に関しての研究は殆ど見当たらないようである。本報ではヒモの材質・長さ・張力などを変えて水中で測定した振動音の実験結果についてのべる。

流体中のヒモの振動計算式

気体（又は液体）中を適当な速さで動かされる柱状物体や流れの中に置かれた細い棒・ヒモなどは Fig. 1 のような一対の渦の列を発生する。これらの物体は同時に流れと直角な方向の振動を生じ，その振動数が可聴域に入れば音として感ぜられるようになる。

Fig. 1. Kârmân's votex street

Strouhal (1878) は実験的に次の式を得ている。

$$n=0.2V/d \quad \cdots\cdots(1)$$

ここに，V は柱状体の前進速度（又は流れの速さ），d は円柱の直径，n は振動数で係数0. 2

* 日本水産学会秋期大会（1955，於長崎）発表。

は条件如何によっては異なる値をとる事があるので一般に之を Strouhal number と称する（以下 S- 数と呼ぶ）。

渦の列幅をhとし，一列内の渦間距離を a とする場合，粘性のない理想流体では渦が中立の安定を保つためには次のような関係

$$\mathrm{Sin}\hbar\,(\pi h/a)=1 \quad \text{or} \quad h=0.2806a \cdots\cdots(2)$$

が成立つことを Kármánは理論的に導出した。[3]（このような渦列を von Kármán's vortex street と称する。）

渦の流される速さは流体の速さ（相対流速）V より遅く実験的にほぼ $0.86V$ であるから a と n との関係は

$$a=\frac{0.86V}{n} \cdots\cdots(3)$$

となる。渦列の幅 h は円柱直径 d より大で層流失速の場合には

$$h\fallingdotseq 1.2d \cdots\cdots(4)$$

これと(3)式との関係を(2)に代入すれば $n=0.2V/d$ を得て Strouhal の実験式が成立する事を知る。一方乱流失速になれば渦列幅 h が狭くなり $h\fallingdotseq d$ 程度となるので S-数は大となり次のように

$$n=0.24V/d \cdots\cdots(1')$$

となることもある。

所で，上述の式にはヒモの長さや張力などの要因が全く介在していない。一般に振動体は，複雑なスペクトル構成の外乱を受ける場合，自己固有の振動数に一致（又は近似）する振動成分に対してのみ増巾共振するといういわゆる「選択共振」の現象を生ずるものであるから，ヒモの長さや張力如何でその固有振動数が変化するならば流水中での振動問題も流速と直径とだけでは到底劃一的に論ぜられない筈である。

我々は昭和30年より水槽実験を開始して同年度末には次節で述べるような結果を得ていた。[4] 即ち張力をかけないヒモの場合には S- 数が相当低くなり水流中では

$$n=0.125V/d \cdots\cdots(1'')$$

が最も妥当であり，強い張力をかければ(1)式に従うのである。

東大水槽や阪大風洞による実験結果について藤野は S- 数 0.17 附近で選択共振が生ずるという結果を得ている[5]から，上述の理論値より低く我々の得た結果よりも高い S- 数を生ずる場合もあることを知る。これらはヒモや円柱体などの支持される条件によって異なるものであろう。

実　　験

前述の諸式からも判るように，水産の現場で我々の遭遇するヒモの水中音は大体数サイクルから数百サイクルの範囲に入るであろう。このような周波数範囲の音は技術的にとり扱い難いもので，この範囲に亘って増幅度の平滑な性能の器材がない場合，可聴限以下の低周波音測定には人間の五感と時計刻みとの組合せにたより可聴域内の音波周波数測定には普通のオッシロ（電磁・陰極線）を用いる事となる。ナワ・ヒモの材質としてはカタナワ（比重1.1）・綿糸（同 1.55）・ラメロン（同約 1.4）・クレモナ（同1.32）・サラン（同1.7）・

アミラン（同1.14）などを用いた。その仕様（太さなど）は之を実験結果表内に示す。

流水中でのヒモの振動実験： 流水としては本学施設の大型回流水槽[9]の流れを用いた。Fig. 2 に示すような木枠に長さの異なるヒモを張って水流に直角な向きに沈める。この場合枠の外側にヒモと連繋して張力指示針を着けてみたがヒモの伸びや水流の乱れなどの影響により指度が不正確なのでこれを取外し，空中(重力のみ作用した場)でタルミの生じない最小張力を以てヒモを緊定した。ヒモの比重は材質によって違うけれども1.1～1.7内にあるから静水中では殆ど張力零に近くなるものと思われる。

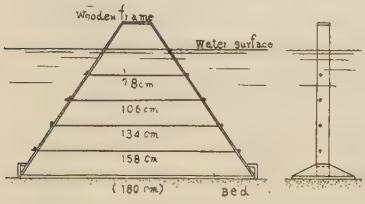


Fig. 2. Arrangement of ropes in various length (in water-current)

この実験では一般に振動数が低いので，ヒモに細い(0.8mm径）ビニール管を添わせこれを通して2～3秒間インクを流すという方法で Kármán 渦列の発生を観察することが出来た。外径 8.2mm のカタナワの場合，流速 40cm/sec 位では1～2組の渦を生じ 50～60cm 流された頃インクは散乱消滅してしまうが，18cm/sec 程度の流れでは約3組の渦がほぼ 20cm 位まで認められ 120cm 下流ではインクがすっかり消散してしまう。6cm/sec のゆるい水流になればヒモの約 50cm 下流まで7～8組の渦が生じ，80cm あたりまでは渦の中心の存在が認められ 150cm 以上も流された所で完全に消失する。

渦の崩れはじめるあたりでの渦列幅はカタナワ直径の約2倍程度と観察された。即ち(4)式は $h \fallingdotseq 2d$ となるからこれと(2)・(3)式を組合せれば(1)式相当の式は $n=0.12V/d$ となって前述の S-数0.125の(1″)式とほぼ一致することとなる。得られた結果を Table 1. に示す。

Table 1. Results of experiments in running water

Ropes		Current speed, V	Frequency of vibr.		No. of nodes	Remark
Material and its specification	length (cm)	(cm/sec)	observed (c/sec)	calculated: 0.125V/d		
カタナワ Straw-rope (Mid. 3# 中玉) d=8.2mm	189	22.2	2.9	3.4	1	
		23.2	49.～5.7	3.5	2	
		32.2	6.2～6.3	4.9	2	
		44	6.0～6.4	6.7	2	
		59	8～9	9.0	3	(不規則振動)
		95	8	4.5	3	irregular vib.
	163	19～20	2.9～3	3	1	
		47.5～18	2.9	2.7	1	
		15～47	7.2	6.9～7.2	2	
		48～49	7.5	7.3～7.5	2	
	141	17.5	3.3～3.6	2.7	1	(安定共振)
		17.5～18	3.0	2.7～	1	resonant vib.
		45～47	7.0	6.9～7.2	1	
		48～49	7.7	7.3～7.5	2	
	115	17.5	3.3～3.5	2.7	1	
		17.5～18	3.2	2.7～	1	
		45～47	6.3	6.9～7.2	1	
		48～49	8.0	7.3～7.5	2	

Table 1. (Continued)

Ropes		Current speed, V	Frequency of vibr.		Nov. of nodes	Remark
Material and its Specification	length (cm)	(cm/sec)	observed (c/sec)	calculated: 0.125V/d		
カタナワ Straw-rope (Mid. 3# 中玉) d=8.2mm	94	16 18 45～47	3.6 3.0 6.6	2.4 2.7 6.9～7.2	1 1 2	(不安定振動) unstable vib.
Cotton (Coal-tar dyeing) 5匁 d=4.5mm	189	18.5 32.2 44.0 59.0	5.2～5.5 8.8～9 11 —	5.2 8.9 12.0 16.4	3 3 3 5	
Ramelon (500d×35×3;2.8匁) d=3.0mm	189	11.0 31.2	4.5 8.5	4.6 13.0	2 2	
Cremona (72×3 Coal-tar dyeing) d=2.1mm	189	18.5 35.8	61 27	11 21.3	2 2	
Salan (10匁) d=1.7mm	189	5.8 20.0 32.0 47.5	9.8 100～150 210～240 330	4.3 6.9 25.0 56.0	1 4 5 6	
Amilan (60×3) d=1.5mm	189	18.5 35.8	75 166	25 48	3 3 1/2	

静水中で動くヒモの振動実験： 静水タンクは鉄板(5mm)製. 180cm×160cm 水深70cmのもので之を木製台上にのせて大地からの伝導雑音を少しでも減ずるように留意した。ヒモはFig. 3に示すように垂直軸のまわりに往復回転する2枚の水平円板の直径の一端間に結び渡たされている。この上下両円板は軸より色々の音が伝わって来ないよう防音ゴムで垂直軸に保持され，供試ヒモの張力と平衡するよう直径の他の端間を張力計兼用のばねで張られている。ヒモ運動の中心近くに前報水滴音実験[2]に用いたのと同等の水中マイクを置きレシーバーをもって耳で聞くと同時にブラウン管オッシロにより安定な正弦波の一波長を読んで周波数を正確に算定した。必要に応じテープにも録音した*。マイクの直前を発音ヒモの通過する瞬間円周速度測定には，円板回転用ハンドルの先端にとりつけた一接点を，中心角3.85°に固定設置した台上の2接点へ触れせしめて，パルス発生機より 10^{-4}sec の時間マークが生ずるようにしその両パルス間の時間を精密にオッシロで読みとって算出した。手動で実測100～300cm/secの水中ヒモ速度を得ている。尚円板往復回転のため水面に波が生じてその音がヒモの音を

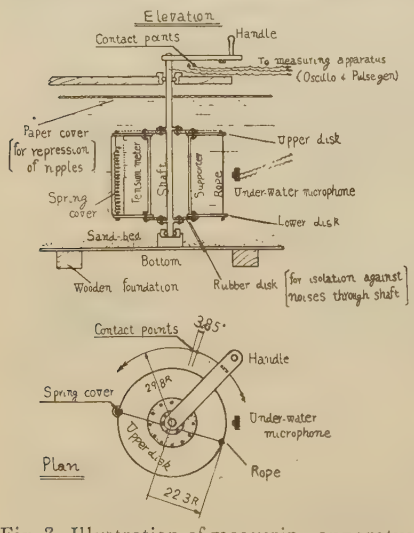


Fig. 3. Illustration of measuring apparatus for the sound by moving ropes in stagnant water

* 録音結果は日本水産学会（1955，長崎）大会に於てテープコーダーにより発表したが，1956年1月の火災により全部焼失したことは誠に遺憾であった。

Table 2. Results of experiments in stagnant water (by moving ropes)

Materials and spefications of ropes [length: 32.4cm]	Moving speed, V (cm/sec)	Frequency of vibr. observed (c/sec)	Frequency of vibr. calculated: 0.2V/d	Tension (kg)	No. of nodes, presumed
カタナワ Straw-rope (4#) d=8.8mm	217	98	50	17	2
	167	76	39	17	2
Cotton (64×3×3)11匁, (Coal-tar dyeing) d=6.2mm	122	104	40	3	3
Ramelon (500d×35×3, 28匁) d=3.0mm	114	80	80	14	1
	198	210	140	5	$1^1/_2$
	278	344	210	16	$1^2/_3$
Cremona (10匁, 60×3×3 Coal-tar dyeing) d=6.8mm	120	106	35	3	3
	124	100	39	10	$2^1/_2$
	138	128	43	22	3
Cremona (72, coal-tar dyeing) d=2.1mm	106	200	106	21	2
	122	278	123	15	$2^1/_4$
	85	180	87	6	2
Cremona (75, 1匁) d=2.0mm	133	148	141	17	1
Salan (1.3匁) d=2.0mm	96	217	103	4	2
Amilan (60×3) d=1.5mm	136	290	192	11	$1^1/_2$
	90	140	128	5	1

マスクするおそれがあったので，軸孔のみをあけてパラフィン浸漬した広い厚紙を水面に浮かせた。ここに，円板を往復回転せしめてヒモの水中運動を往復動きにした理由は，もし円板やヒモを一方向へのみ廻わすと水がヒモに随伴し始めヒモと水との相対速度が不明確になってしまうからである。結果は Table 2 のようになって適当な節数を考えればS=数0.2とした(1)式の方がよく合致することを知る。

検　　討

Table 1 で判るように張力をかけないで流水中に置いたヒモの振動は S=0.125 に採れば殆ど計算値を実測値に合致せしめられる。これは前述 Kármán 渦列の観察から言っても妥当な数値であろう。空気中の振動(又は水流中での準剛体の振動)の式 (1)[S=0.2]との間にこのような差異が生ずる事の理由として筆者は，我々の用いた供試材料の比重が環境の水と近い値であるのみならずよく伸び易い質のために振幅が直径と同程度迄増幅されるからであろうと考える。即ち空気の流れの中での円柱体振動はその振幅が小であって $h=1.2d$ 程度なので (1) 式がよく適合するし，水中でヒモの振動する際には振幅が大となって $h=2d$ 程度に拡がるので(1″)式の方がよく適合するものと考える訳である。[因果関係は逆であっても現象は同一である。]そのような考え方からすればヒモに 数kg～10数kg の張力をかけた場合には振幅が当然減る事となり列幅 h も $2d$ から $1.2d$ へ近づく (S:0.125→0.2) ので，Table 2 に示したように高次の周波数まで含んで計算するとむしろ (1) 式の方がよく適合するようになるものと考えたい。

一般に漁業では特殊な場合を除き初期張力をあたえたロープやヒモを用いることは殆どないと見てもよいであろう。故に潮流（又は漁具の移動）速度とロープ・ヒモなどの直径

とから(1″)式を用いて算出すればその値が大体の水中音周波数を示すであろうと推定されるのである。

結　び

筆者等は本研究を実施する前，定置垣網の発生音を録音しようとして福井県丹生郡河野村地先の落網について約800m沖の羽口近くまで水中聴音装置を持ち出した事がある。[7] 電源電圧降下のためテープコーダーが廻転せずその録音に失敗したと思っていたが，もし廻ったとしても上式から算定される振動数は10サイクル以下であるから可聴音としては録音されなかったであろう。逆に言うならば，当日ようやく稼動し得たブラウン管オッシロにそれらしい振動波形を認めたが故にこの種のヒモやナワの水中音は予想外の低周波ではなかろうかと気付き本研究の開始を思い立ったとも考えられるのである。

ここに注意すべきは，そのような水中音が「低周波なるが故に魚には影響しない」とは断言出来ない事であって，むしろ影響は大いにあると考えるべきであろう。何となれば前述の如く Kármán 渦列はゆるやかな潮流では数m下流まで乱れとして残る筈であるから潮下にある魚は之を感知し得るであろうし，潮上にいる魚といえども一般に魚類側線では音の強さ（振幅）さえ大ならば可聴限界はいくらでも低くなり得るという根拠[1] があるからである。

かくして水産の現場では張力のないヒモやナワの発生音として予想外な低音を取扱うことになるがそれでもこれを可聴域の音と同様重大に考え，魚類生態と結びつけて研究調査して行かねばならないものと信ずる。

終りに実験材料を快く提供して頂いた大洋漁業 K.K. 田中社氏，諸実験に多大の援助と鞭撻とを賜った日本海区水産研究所長内橋潔博士，福井県水産試験場の東場長・南沢技師，同県漁聯並に河野漁協の関係者各位に対して深甚の謝意を表する次第である。

文　献

1) 黒木: 日本水産学会誌，23巻7号 (1957).
2) 中馬: 鹿児島大学水産学部紀要，4巻 (1955).
3) Kármán, T. V.: Göttingen Nachrichten, **12** (1911).
4) 小田: 鹿大水産学部昭和30年度卒業論文，分冊 (1955).
5) 藤野勉: 三菱造船技報，4巻，21号 (1956).
6) 奈良迫・金森: 鹿児島大学水産学部紀要，5巻 (1956).
7) 金森・黒木: 鹿児島大学水産学部紀要，5巻 (1956).

集魚用螢光色灯の研究（第Ⅰ報）

各色光の波長分布並に白熱灯との比較*

黒木敏郎・中山博

Studies on the Fluorescent Color-lamps for Attracting of Fish-(I)

Characteristics of these Color-lamps and their Comparisons with Incandesent-lamps

Toshiro KUROKI and Hiroshi NAKAYAMA

On the sea off southern Kyūshū, fluorescent fish-attracting lamps are coming to be used in square net (Hachida-ami) fishing.

The fluorescent tubes of various colours (green, day-light, cobalt, blue, yellow and red) were specially made for this investigation.

By means of a very sensitive photo-meter with 5 kinds of filters, the lumens of the fluorescent tubes were measured respectively and their distributions in various wave-lengths were determined approximately. The coloured fluorescent tubes were proved to be highly effective.

Even 100-watt fluorescence tubes were measured in high lumen. For example, the green 100-watt fluorescent tube was equivalent to 300-400 watt of incandescent lamps in photo-energy output. The bluish or greenish coloured fluorescent tubes have more quantities of photoenergy than incandescent lamps in the range of long wave-length, and, on the other hand, the latters have more quantities of energy than the former in short wave-length. By the reason that fish may be found of bluish light, we can anticipate that these color-lamps will be highly effective in attracting of fish.

緒　　言

最近九州沿岸の八田網などで高輝度（螢光）管集魚灯が頻繁に使用され，常用色光としてはグリーン・昼白色が用いられている。螢光色としては，これ以外に赤・青・水色・黄色・濃赤色および白色等がある。

これらの集魚灯については，量的な資料[1]が割合に少い。我々は科学研究所より借用した高感度照度計[2]を使用して，上記色光集魚灯の各々と白熱灯について各波長に於ける照度分布の測定を行ったのでここに報告する。

実　験　器　材

高輝度（螢光）管灯： 朝日電装 K. K. 特製で，その色は赤・グリーン・コバルト・黄・濃赤色及び昼白色等の六色を呈する。

点灯回路・灯具については，Fig. 1, Fig. 2 に示す。直流 8V に依り交流 100V をおこし，灯具内に收めた昇圧トランスに依り 400V（無負荷

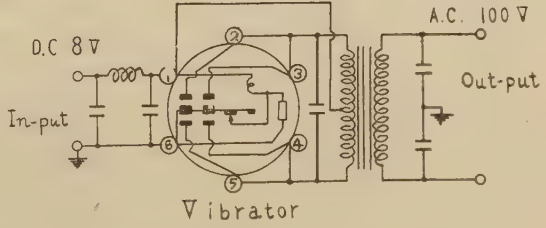


Fig. 1. The electric-source circuit for the fluorescent lamp

* 日本水産学会九州支部大会（1957，於別府）講演.

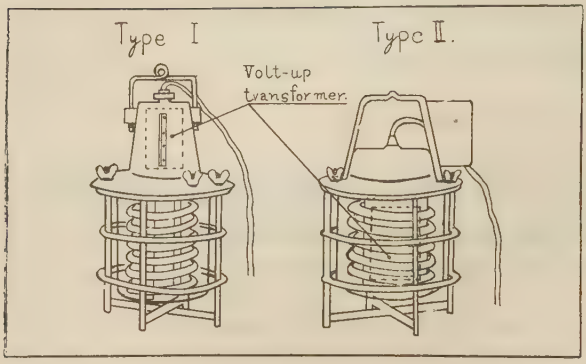


Fig. 2. Under-water fluorescent lamps for fish-attracting

を測定するのにはこれでは困難である。

集魚灯に集った魚群の集魚最大半径や同下限に於ける照度などを測定するのが我々の目的なので，今回は受感部に倍増光電管を使用して製作された科研製高感度低照度計を使用した訳である。但し，この倍増光電管の最高感度は約4000Åであって，相当視感度曲線より短波長側へずれているので，赤色光側では誤差が大

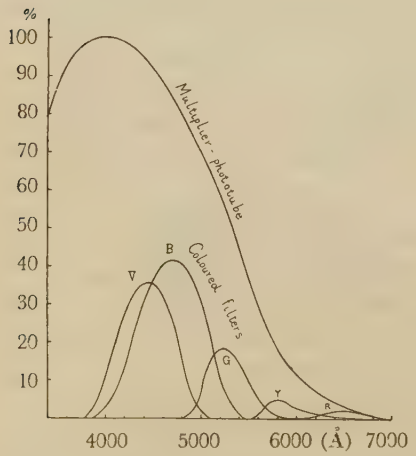


Fig. 4. Characteristic of the poto-tube, itself and through 5 kind of coloured filters

800V）まで上げて点灯する。

白熱灯： 普通の市販品直流用電球を使用した。その種類は次の如くである。5W（6V），100W（24V），100W（12V，但し管球はウス青ガラス），500W（100V）。

照度計： 水中照度計の一般配線図を Fig. 3 に示した。普通の照度計でも実験の使用目的に依っては充分使用可能であるが，10^{-2} lux 程度の低照度附近

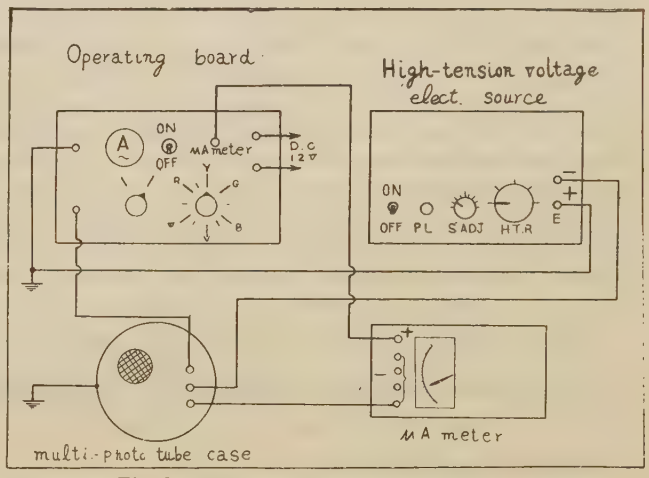


Fig. 3. Circuits of Operating apparatus

きくなるものと思われる。又これには5枚のフィルターR（赤）・Y（黄）・G（緑）・B（青）・V（紫）が装置してある。

倍増光電管の特性曲線とこれに組合せた各フィルターの特性曲線とを Fig. 4 に示す。

実　　験

昭和32年7月26日19時50分より，同年7月27日4時25分までの間。当日曇時々雨。巾約2米，高さ約3米，長さ約50米の廊下に光源と照度計を置き，外部光線を出来るだけ入れない様注意しつつ実験を行った。

この場合光源は一定位置に置き，照度計の測光部を1米・3米・5米・10米・20米・40米に移動

させて，各距離ごとに法線照度その他について測定した。管球に依っては1米，40米を省いたのもある。

実験結果： この照度計は読みがμAとして出る様になっているので，フィルター，エネルギー，照度の諸関係から実験値の読みを更正した。距離3mでの測定結果をFig. 5に示す。

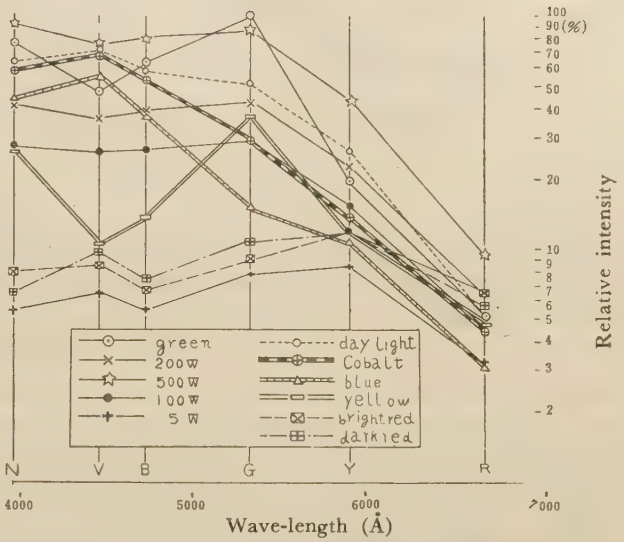


Fig. 5. Intensity distributions of coloured fluorescent lamps in various wave-lengths

考　　察

以下本文に於いて省略符号でV, B, G, Y, R-成分と称するのはそれぞれ分光スペクトル上での紫，青，緑，黄，赤の各成分の事である。

白熱灯： 500Wは他の管球と比較すると，全体的に全成分を一番多く含んでいる。ただG成分がグリーン螢光管の含んでいる量より10%位減少している事が分る。

一般に白熱灯は我々には非常に明るく感ずるが，これは点光源であるためと思われる。実際は各色成分量はそれほど多くない。

100Wは管球ガラスの無色透明なものと，青色透明のものとを試用したが，後者は前者より5%位多くのV成分を含み，他のB・G・Y・R成分については無色透明な管球の方が青いものより多く含んでいる。

少くともB成分に関しては後者が前者よりも多いものと考えられるに拘らず，測定結果はそうでない。この曲線から分る様に，管球ガラスに色をつけると云う事は或る特定の色成分を強く出すが，他の成分のエネルギーを減少させてしまう。

200Wと100W（青）とは同等の紫成分を有し，又200Wは青の螢光管に含まれるB成分と同等の成分を含んでいる。更に200Wは黄色螢光管と同等のY成分を含む。

白熱灯はワット数が大になればなるほど，各波長のB・G・Y成分の強さが目立って大となるが，ワット数の減少するにつれて短波長側はぐんぐん減少し，長波長側はそれ程減少しない。このために照度の低い5W等は肉眼でも分る位に赤味を帯びて来る。

螢光管： 暗赤色と明赤色は大体相似な曲線をしており，前者が後者より約1%多くのV, B, G成分を含んでいる。この様に数%の色成分の違いに依って，暗く感じたり，明るく感じたりするのである。

暗赤色のV成分は黄色に含まれているV成分と同等である。

赤色の螢光管は各成分のエネルギー総和の点では白熱灯の約10～20Wに相当する。

グリーンは前述の如く500Wの含んでいるG成分より，約10%多く含んでおり，我々の試験に供した管球では一番強いG成分を含み，約400Wに相当するエネルギーを持ってい

る。又B成分は白色並びにコバルトに含まれているB成分と同等であり，Y成分は150W程度の白熱灯に含まれるそれに相当するものと算定される。

白色とコバルトは等しいV成分を含み，この両者は500Wの65%に近い値を有する。

白色はコバルトより約20% G・Y 成分を多く含んでおりR成分は両者とも等しいと云っても良い位である。

従って，白色に見えるか，コバルトに見えるかは G・Y 成分の強弱に依って定まるものと云われよう。

青色はB成分を一番多く含んでいるはずであるが，これに含まれているのは200Wに含まれているB成分と同じで，V成分がB成分より5～6%多く含まれている。点灯した時，少し紫がかって見えそうであるがやはり青に見え，V成分は全然B成分に cover されてしまうことを知る。

これを点灯した状況で coluor-film に写すと，管球は青なのに管球自身は白く写り，background が青く照らし出される。尚G成分はぐっと減少して赤の含んでいるG成分より4～5%多い程度であり，Y成分は赤と同じ強さを含んでいる。

黄色は白熱灯200Wに含まれている G・Y 成分に近い値を有し，B・V 成分は急に減少して暗赤色（約10～20W 相当）の有するV成分に等しい値を有する。

白熱灯と螢光灯との比較：各色光感については以上述べた様であるが，白熱灯は長波長側を多く含み，螢光管は短波長側を多く含んでいる。前者は点光源であるために眼に与える刺戟が強い割に照度は弱い。又，後者は光源が面光源であるために，soft で非常に明るく感ぜられ，グリーン，コバルト管などは螢光管入力が100W程度であるのに拘らず，白熱灯の 300～400W に相当する様に思われる。又中には赤の螢光管の如く，長波長側を多く含み10～20Wに相当するのもある。

結　　び

以上の様に，高輝度（螢光）管灯は白熱灯に比べて効率が良く，同じ100Wでも高照度が得られる。

螢光灯の色光は封入ガスと螢光物質との組合せに依り，[3] 自由に合成出来るので，魚種に適合する色光と照度が分れば今迄より有効に集魚出来る色光水中灯を作り得るものと信ずる。

この適合色光と光源からの各距離における照度および魚との関係については次の機会に報告する予定である[4]。

文　　献

1) 山口県外海水産試験所試験報告：12月発行 (1956).
2) Sasaki and others : Records of Ocean. Works in Japan, Spec. No. Mar. (1957).
Sasaki and others : Record of Ocean. Works in Japan, Vol. 2, No. 2(1955).
3) 新電気：電気工業会（オーム社), Vol. 11, No. 10 (1957).
4) 黒木・中山：日本水産学会九州支部大会(1957，於別府) 講演.

大型対稱式回流水槽について (続)

奈良迫嘉一・金森政治

On the Kagoshima University Large-sized Experiment-tank Consisted of Twin Symmetric Elliptical Circuits

Yoshikazu NARASAKO and Masazi KANAMORI

Except in the case when special water-depth is needed, by using the circulating tank with 0.6m water depth, we can get both the greater domain for the variable speed and the more noteworthy effects on uniflow than by using the tank with 0.8m water depth.

Therefore, so long as the Lpp 1m model ship is used, this tank with 0.6m water depth is deemed to have a thorough competence as an authorized test tank.

1. 緒　　言

本学回流水槽の設備全般並びに其の性能の概要に就ては既に前報に於て一応報告をまとめたが，船型試験の如く高速を必要とする場合 0.8m 水槽水深では V.S. モーターの馬力に制約されて必要な流速を得られずそのため 0.6m に水深を減じ負荷を小さくして実験を行っている。本報では両水深の流速分布を比較検討し，0.6m 水深に於ける本水槽の船型試験への適応性に就て吟味した。

2. 実 験 方 法

水槽水深を 0.6m とし，前報と同じく水平整流板，垂直整流用金網及び制波板を使用して流速調整を行なった。先ず制波板に依って表面波の発生を最小限に押えベルヌーイの定理に従い（附記参照），試錯法に依り中央垂直横断面を基準として広井式流速計を使用し立体的に測定点を定め流速を求めた。即ち Fig. 1 に示す如く中央水路部の観測窓位置，前方，中央，後方の三垂直横断面上水平方向に 7 点，垂直方向に 5 点計105の測定点を定め V.S. モーターの回転数 700r.p.m. より逐次50r.p.m. 飛びに最低 100r.p.m. 迄合計13段階に亘って流速を検定した。垂直金網用鋼線は前回，18番の2, 3, 4cmメッシュ3種を使用したが，高速では整流効果が小さいため之に代って 1, 2cm メッシュ2種を作製使用した。

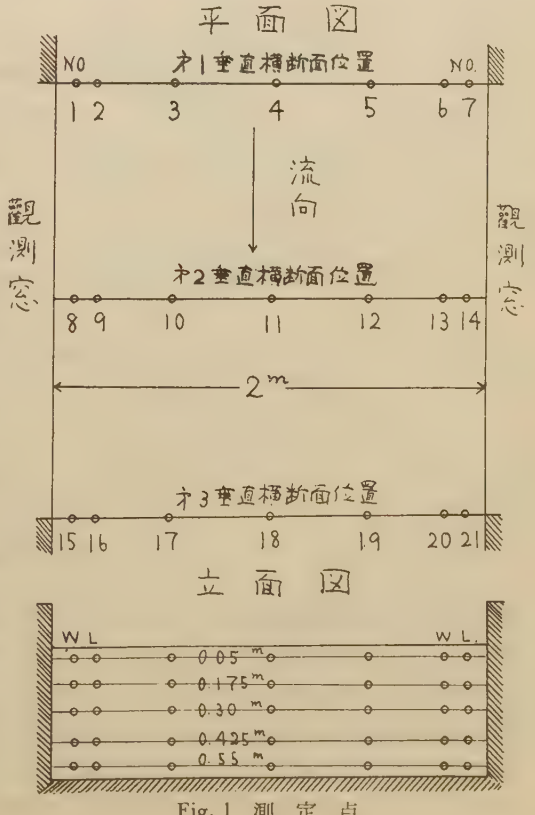


Fig. 1 測 定 点

3. 実 験 結 果

0.6m 水深では予測された如く高速（最高平均 0.82m/s）の場合流速分布状態悪くその整流調整も困難であるが，低速（最低平均 0.135m/s）になるに従って分布状態もよくなりその調整も容易となった。使用モーターの最高回転数 700 r.p.m. に対する電流は 23 Amp. で定格 28.7 Amp. 迄かなり余裕があり更に回転数の増加を期待出来たが，建物が木造であるため動力伝達時の振動を考えて回転数を押えた。Fig. 2 に示すように水平速度分布調整用整流翼及びその度盛盤上の角度の符号は前報と同じく流の下流側より見て右にあるものを R，左にあるものを L とし，それぞれ外側より内側へ向って 1, 2, 3, 4 とした。指針内，外の読みはそれぞれ O° を中心として内側，外側への角度を示す。Fig. 3, 3′ はそれぞれ 100, 700r.p.m. の

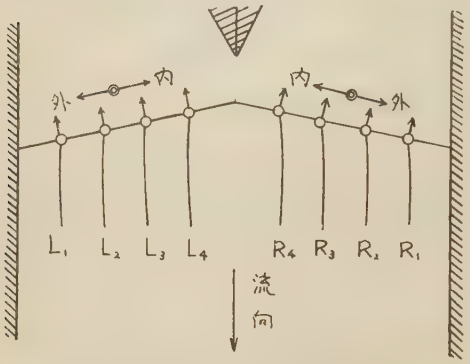


Fig. 2　水平速度分布調整用整流翼

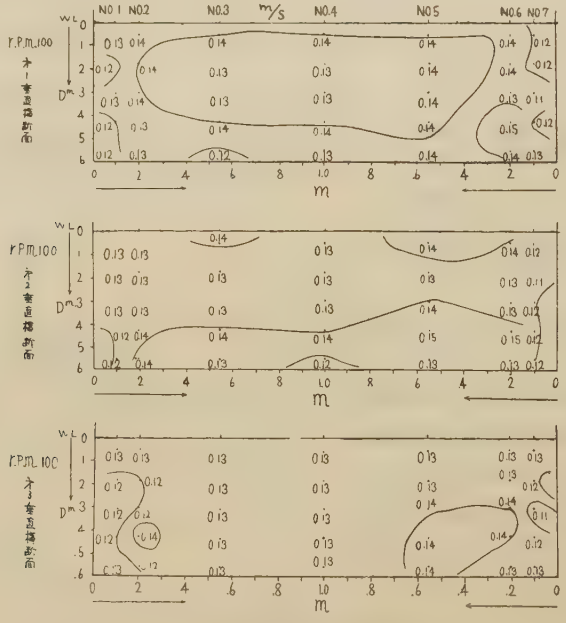


Fig. 3　垂直断面等流速曲線

各垂直横断面の等流速曲線図，Fig. 4, 4′ は水平断面のそれを示す。流速分布は昨年と同様側壁及び底部の境界層部を除けば略々均一となったが，ただ前回と違って高速になると彎曲部水路より直線水路への移行部で左右からの水の合流のため渦流を生じ検定水路の中央底部（測定点4, 11, 18）の流速を著るしく減少させる結果となった。又観測窓凹部の影響もかなり大きく側壁近傍（測定点1, 7, 8, 14, 15, 21）の流速は不安定となった。Fig.5, 6,7 はそれぞれ 0.6m, 0.8m 両水深時の垂直横断面，垂直縦断面，水平断面に於ける測定点平均流

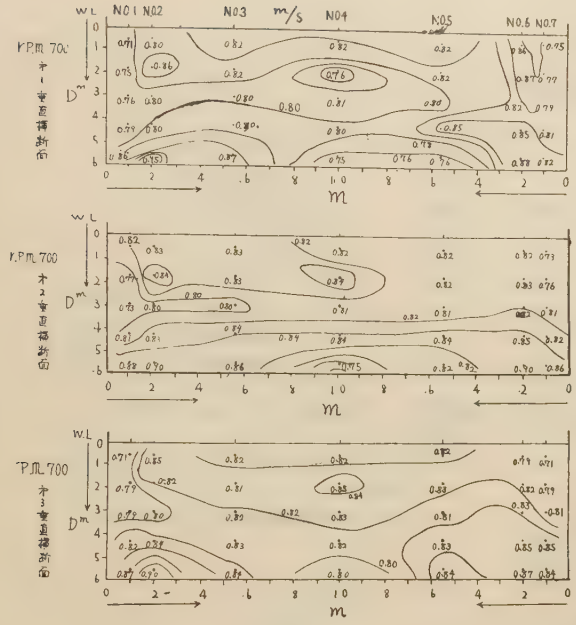


Fig. 3′　垂直断面等流速曲線

4. 考　　察

0.6m 水深と 0.8m 水深とではモーターの最高回転 700 r.p.m. に対し前者は最大流速 0.82m/s, 後者では 0.64m/s で約 0.2m/s の差がある。尚最小流速は0.6m水深ではクラッチ切換による低速モーター回転を使用しなかったため高々 0.13m/s しか得られなかったが，之を用いると更に微速を得ることは明らかである。さて Fig. 5～7 に依れば平均流速とモーター回転数間の関係は後者の場合 400 r.p.m. 以上ではヴエルトのスリップの為その変化が極めて不規則化しているが，前者ではすべての回転数に対し常に一次的に比例関係を示していることが判る。但し回転数の減少に伴なって両者の差異は次第に小さくなり 200r.p.m. 以下では殆んど水深の差の影響はみられない。Table 及び Fig.8, 9に依れば500 r.p.m. 以上で前者の標準偏差は後者の 1/2 以下となり又 400r.p.m. 附近で略両者の標準偏差が同一となること更に同一平均流速に対しては前者の立体的標準偏差がかなり小さくな速とモーター回転数との関係を示す。Table は両者の同一回転数に対する垂直横，縦断面並びに水平断面平均流速に就ての標準偏差比較表（但し側壁，底部隣接測定点の値は除く）。Fig. 8 はその一例として垂直横断面に対する値を図示したもの。Fig. 9 は水深 0.6m 水槽に於ける測定点 9, 10, 11, 12, 13に対応する 0.05 m水深位置の平均流速とモーター回転数との関係を示す。

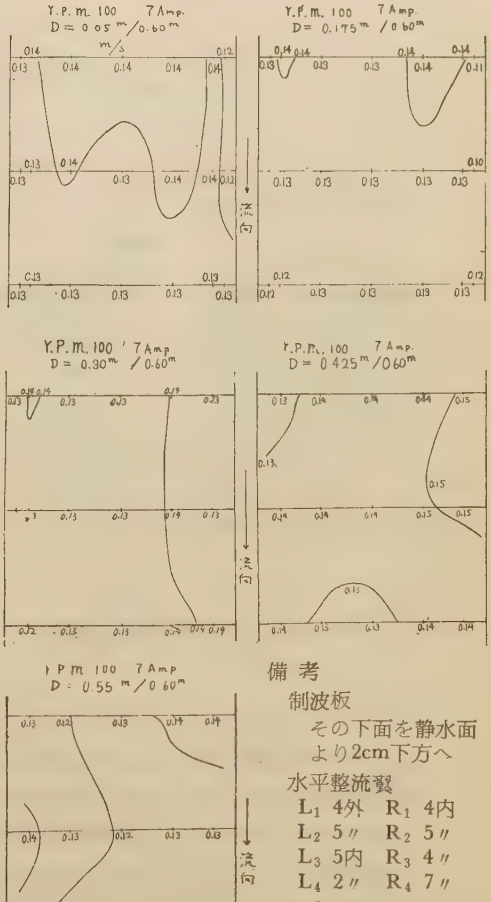
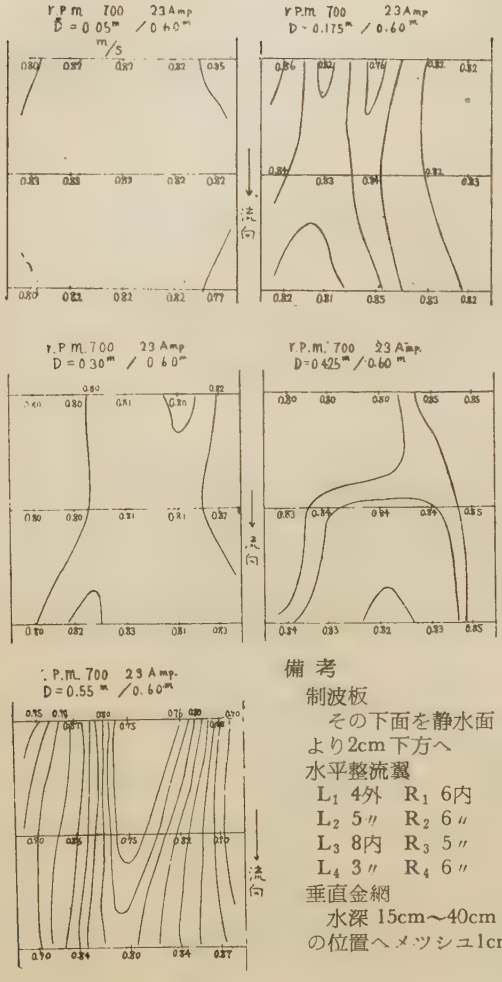


Fig. 4　水平断面等流速曲線



備考
制波板
その下面を静水面より2cm下方へ
水平整流網
L_1 4外 R_1 6内
L_2 5〃 R_2 6〃
L_3 8内 R_3 5〃
L_4 3〃 R_4 6〃
垂直金網
水深 15cm～40cm の位置へメツシュ1cm

Fig. 4 水平断面等流速曲線

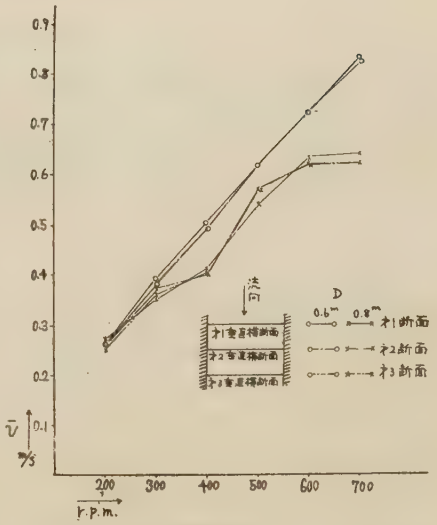


Fig. 5. 垂面横断面 $\bar{V}$–r.p.m.Curve

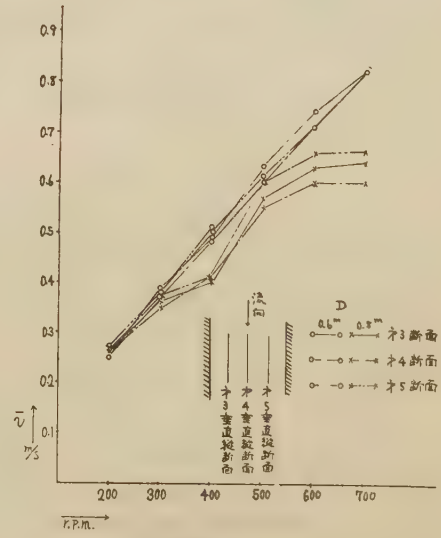


Fig. 6 垂直縦断面 $\bar{V}$–r.p.m. Curve

っていることが知られる。実験に際し適当な水路即ち側壁及び底部の近傍を避け水深の約2/3以内で中央幅1.8mの水路を選べば0.8m水深の場合に比し0.6m水深では流速分布の立体的標準偏差も格段に小さく平均流速0.2m/sで0.002, 高速0.65m/sでも0.027の程度で普通実験に使用される低速範囲では偏差0.01以下に留まりかなり優秀な結果が得られるが中速0.82m/sで0.019, 高速では現在の所更に偏差は大きくなろう。次に0.6m水深の場合の水槽水深及び水路幅が模型抵抗に及ぼす影響に就て考察してみよう。先ず抵抗に影響なき最小水深に関しては D.W. Taylor 及び Otto Schlichting が先に次式に依ってその限界を明らかにしている。

i) D.W. Taylor の式

$C_b<0.65, V/\sqrt{Lg}<0.27$ ならば $H=34\left(\frac{V}{\sqrt{Lg}}\right)T$

茲に H：最小水深，$V/\sqrt{Lg}$：フルード数，T：模型吃水

又 $H/T>10$

ii) Otto Schlichting の式

$\frac{\sqrt{A'}}{f}, \frac{V^2}{gf}$ が充分小さく何れも 1 以下

茲に $A'\equiv A_{\text{水}}=C_{\text{水}}Bd$，f：水槽水深，V：流速

上式に今本学漁業練習船敬天丸 LBD： $35.5^m\times7.0^m\times3.5^m$, Δ 327^T, d_m 2.06^m, C_b 0.613, $C_{\text{水}}$ 0.955, Vmax. 9.5knots の模型資料 Lpp 100^{cm}, B 19.6^{cm}, d 5.8^{cm}, $V/\sqrt{Lg}$ 0.266

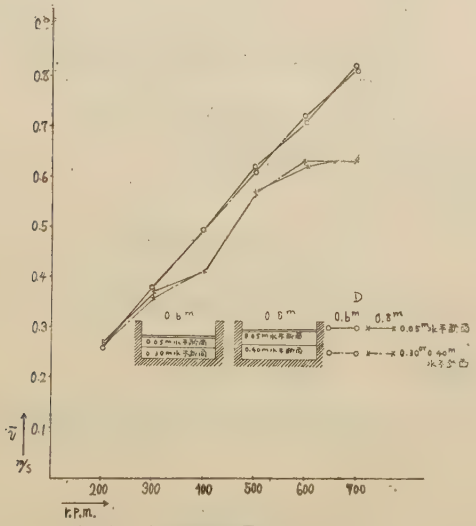


Fig. 7　水平断面 $\bar{V}$–r.p.m. Curve

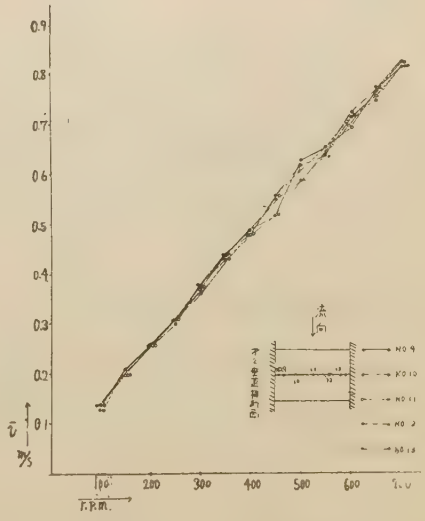


Fig.9　D=0.05^m/0.60$_m$に於ける $\bar{V}$–r.p.m. Curve

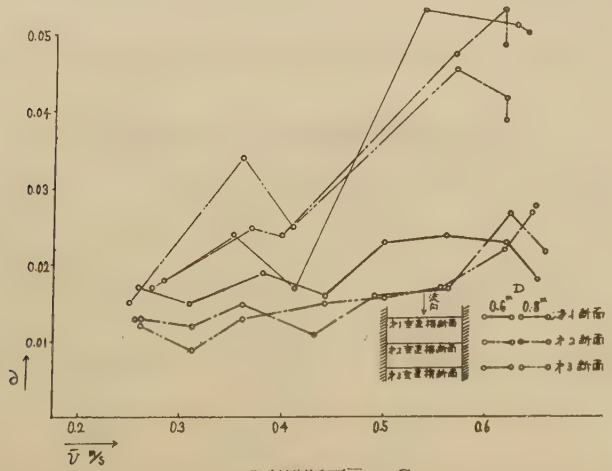


Fig. 8　垂直横断面 $\bar{V}$–∂ Curve

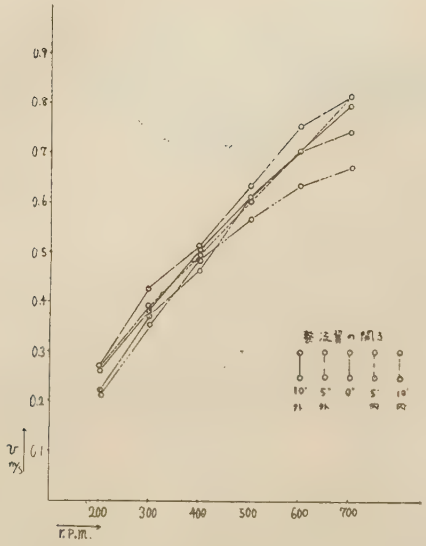


Fig. 10 D=0.05m/0.60mに於ける整流翼の効果

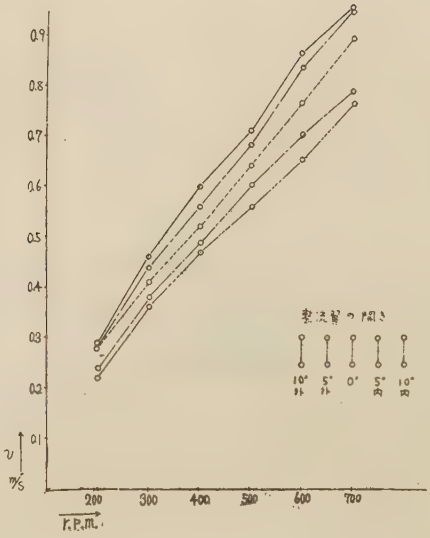


Fig. 11 D=0.30m/0.60mに於ける整流翼の効果

を代入すれば H=41.6cm<60cm, H/T=10.3>10,

$$\text{又}\ \frac{\sqrt{A'}}{f}=0.21<1,\ \frac{V^2}{gf}=0.11<1$$ となり何れも安全側。

又水路幅が抵抗に及ぼす影響に就ては J. Schütte が次式に依ってその限界を明らかにしている。

即ち S/B=H/T>10 茲に S: 水路幅, B: 船幅

上記模型値を代入すれば同じく安全側となり, Lppl.00m 模型を使用する限り水槽水深及び水路幅の抵抗に及ぼす影響は考えられない。

5. 結 言

特に水深を必要とする場合を除き 0.8m 水深より 0.6m 水深の回流水槽が流速変化の範囲も広く且つ整流効果も著るしい。従って本水槽 0.6m 水深に於ては Lpp 1mの模型を使う限り充分船型試験を行うことが出来ると考えられる。

最後に本実験に協力された学生, 辰元雅和君, 研究補助員五反田省三君に深く感謝の意を表する。

附 記 水平速度分布調整用整流翼の効果に就て

前述の如く本整流翼は水平方向流速調整に重要な役割を果す。今整流翼の開きに対する中央検定水路の流速変化を見よう。全整流翼の指針の読みを一応 O° に固定し, L_4, R_4 両度盛盤上角度目盛を 5° 宛変化 (外 10°, 外5°, 0°, 内5°, 内10°) せしめると測定点 No. 18 に対する水深 0.05m, 0.3m 位置の流速はそれぞれ Fig. 10, 11 の如く変化する。即ち 0.05m 水深では表面波の影響で必ずしも一定の変化量は認め難いが, 0.3m 水深では回転数の増加に従い全体の速度差は概ね一様に増加し, 一応ベルヌーイの定理の成立を認めることが出来る。

文 献

奈良迫嘉一・金森政治:大型対称式回流水槽について昭和31年鹿児島大学水産学部紀要第5巻

Table　水槽水深 0.6m,0.8m の平均流速標準偏差比較表

垂直横断面 D=0.6m	r.p.m.	200		300		400		500		600		700	
	断面	$\bar{v}$	ə	$\bar{v}$	ə	$\bar{v}$	ə	$\bar{v}$	ə	$\bar{v}$	ə	$\bar{v}$	ə
	1	0.26	0.017	0.39	0.019	0.50	0.023	0.62	0.023	0.72	0.026	0.82	0.022
	2	0.26	0.013	0.38	0.015	0.49	0.016	0.62	0.027	0.72	0.020	0.83	0.013
	3	0.26	0.012	0.38	0.013	0.49	0.016	0.62	0.022	0.72	0.025	0.82	0.015
D=0.8m	r.p.m.	200		300		400		500		600		700	
	断面	$\bar{v}$	ə	$\bar{v}$	ə	$\bar{v}$	ə	$\bar{v}$	ə	$\bar{v}$	ə	$\bar{v}$	ə
	1	0.27	0.014	0.35	0.024	0.41	0.017	0.54	0.054	0.63	0.052	0.64	0.510
	2	0.26	0.017	0.37	0.025	0.40	0.023	0.57	0.048	0.62	0.054	0.62	0.049
	3	0.25	0.015	0.36	0.034	0.41	0.025	0.57	0.046	0.62	0.049	0.62	0.046
垂直縦断面 D=0.6m	r.p.m.	200		300		400		500		600		700	
	断面	$\bar{v}$	ə	$\bar{v}$	ə	$\bar{v}$	ə	$\bar{v}$	ə	$\bar{v}$	ə	$\bar{v}$	ə
	3	0.25	0.013	0.38	0.012	0.49	0.019	0.63	0.018	0.74	0.017	0.82	0.013
	4	0.25	0.008	0.37	0.012	0.48	0.015	0.60	0.024	0.71	0.015	0.82	0.021
	5	0.27	0.008	0.38	0.015	0.50	0.019	0.61	0.022	0.71	0.024	0.82	0.013
D=0.8m	r.p.m.	200		300		400		500		600		700	
	断面	$\bar{v}$	ə	$\bar{v}$	ə	$\bar{v}$	ə	$\bar{v}$	ə	$\bar{v}$	ə	$\bar{v}$	ə
	3	0.26	0.014	0.36	0.026	0.40	0.012	0.57	0.030	0.63	0.037	0.64	0.037
	4	0.26	0.022	0.35	0.042	0.41	0.031	0.55	0.069	0.60	0.061	0.60	0.062
	5	0.26	0.017	0.37	0.023	0.41	0.021	0.60	0.056	0.66	0.031	0.66	0.041
水平断面 D=0.6m	r.p.m.	200		300		400		500		600		700	
	断面	$\bar{v}$	ə	$\bar{v}$	ə	$\bar{v}$	ə	$\bar{v}$	ə	$\bar{v}$	ə	$\bar{v}$	ə
	m												
	0.05	0.26	0.007	0.38	0.021	0.50	0.010	0.62	0.022	0.71	0.020	0.82	0.015
	0.30	0.26	0.009	0.38	0.007	0.49	0.009	0.61	0.010	0.72	0.014	0.81	0.010
D=0.8m	r.p.m.	200		300		400		500		600		700	
	断面	$\bar{v}$	ə	$\bar{v}$	ə	$\bar{v}$	ə	$\bar{v}$	ə	$\bar{v}$	ə	$\bar{v}$	ə
	m												
	0.05	0.27	0.018	0.37	0.023	0.41	0.021	0.57	0.049	0.62	0.050	0.64	0.043
	0.40	0.26	0.013	0.36	0.021	0.41	0.015	0.57	0.018	0.63	0.026	0.63	0.017

漁船模型に依る回流水槽と曳航水槽との抵抗試験結果の比較に就いて

奈良迫　嘉一

A Comparative Research on the Discrepancy Observed in the Resistance-Test done with the 2 Different Types of Tank—the Circulating and the Towing—Under the Use of the Identical Fishing Vessel Model

Yoshikazu NARASAKO

In the ordinary model experiments, especially in the case performed in the Towing Tank, the frictional resistance,—which owing to the existence of laminar flow, expresses smaller count than the actual one,—enforces the experimenters to fit a trip wire at the model vessel for the purpose of inducing a turbulent flow along the model in the boundary-layer.

With the intention of improving these clumsy procedure we, forseeing the working effects of the Circulating Tank in connection with the character of the resistance in the turbulent flow, performed a comparative research on the experiment tests in the 2 different types of Tank under the use of the identical fishing vessel model, with the following results obtained.

1) When, as in case of the fishing vessel, the ship-speed is fixed within 10 knots, or within the slow speed at which the vessel resistance is frictional, both E.H.P. and D.H.P. got at the Circulating-experiment Tank showed more approximate value inherent in the actual ship than in case of the towing-experiment Tank; enabling the author to confirm the effect of the turbulent flow of the Circulating Tank.

2) In case of the ship-speed being over 10 knots, when most of the model resistance is wave-making, no discrepancies were to be found in the two kinds of Tank; either case showed an approximate value inherent in the actual ship.

3) In the experiments done at the Circulating Tank (14m.×2m.×1m.), no difference in the effects of scale ratio of the two similar model Lpp. 1.50m., 1.00m. was to be confirmed.

1. 緒　　言

現在模型実験に際し曳航水槽では層流のため摩擦抵抗が実際よりもかなり小さく出る事からわざわざ模型にトリップ・ワイヤーを附して乱流を発生せしめている。之に対し吾々は乱流抵抗の見地から回流水槽の有用性を予想し同一漁船模型に依る回流，曳航両水槽の比較抵抗試験を試みた。その結果回流水槽の特性に関する若干の知見を得たのでここに報告する。

2. 実 験 方 法

使用漁船は鹿児島大学漁業練習船敬天丸 265 総噸数[1] で模型大きさは裸殻垂線間長Lpp 1.5^m（寸法比 1/23.67)。桂製で表面にコーパルを塗装，附加物としては彎曲部竜骨及び舵附き。実験は曳航水槽として九州大学工学部造船学教室設置のもの[2] を使用，通常の如く 0.6$^{mm}\phi$のピアノ線をトリップ・ワイヤーとして満載吃水線に垂直に前部垂線F.P.後方8.6^{cm}の位置に船体表面に膚接して取付けた。又回流水槽としては本学水産学部設置のもの[3] を使用，但し模型のトリップ・ワイヤーなし。両者何れも次の計画軽荷吃水状態で抵抗試験を行なった。即ち船首吃水 d_f 1.32^m, 船尾吃水 d_a 2.80^m, 平均吃水 d_m 2.06^m, 排水量 Δ 327.0^T,

トリムτ 1.48^m_A.

尚回流水槽に於ける模型の寸法効果を検討する意味で Lpp1.00^m の小型相似模型船の実験をも併せ行なった。

3. 実 験 結 果

各水槽に於ける模型船速度 v^m/sec. と模型全抵抗 r_t^{gr} との関係を Fig. 1 に示す。その解析は何れも通常の方法の如く r_t を模型摩擦抵抗 r_f と模型剰余抵抗 r_r に別け r_f の計算にはシエーンヘルの乱流摩擦抵抗係数算定式

$$0.242/\sqrt{C_{ft^oc}} = \log_{10}\left(\frac{vl}{\nu} \times C_{ft^oc}\right)$$

を用い実船の粗度効果としては C_f の5割増しを採用した。今軽荷吃水 Δ 327^T に対する有効馬力 E.H.P., 伝達馬力 D.H.P. 及び推進効率 η 曲線を引けば Fig. 2 の通りである。D.H.P. の算出に当っては推力減少係数 t=0.26, 伴流係数 w=0.36（何れも430総噸数実鯖船

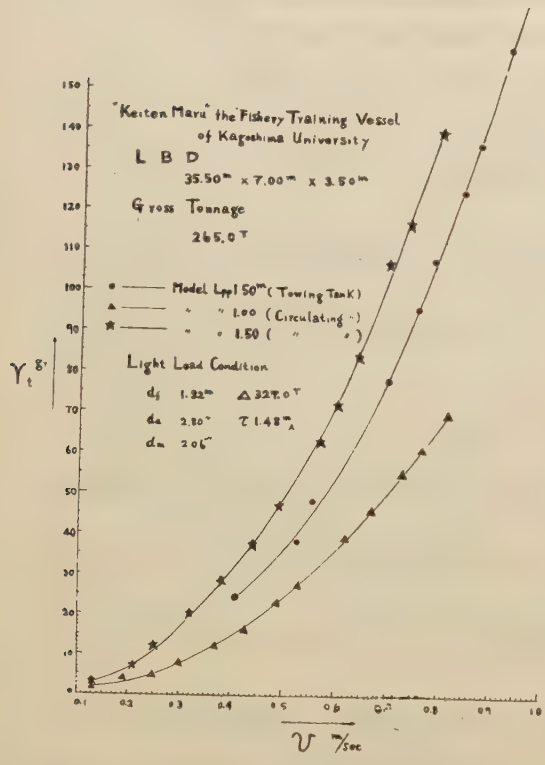


Fig. 1　Curves of model resistance and ship speed

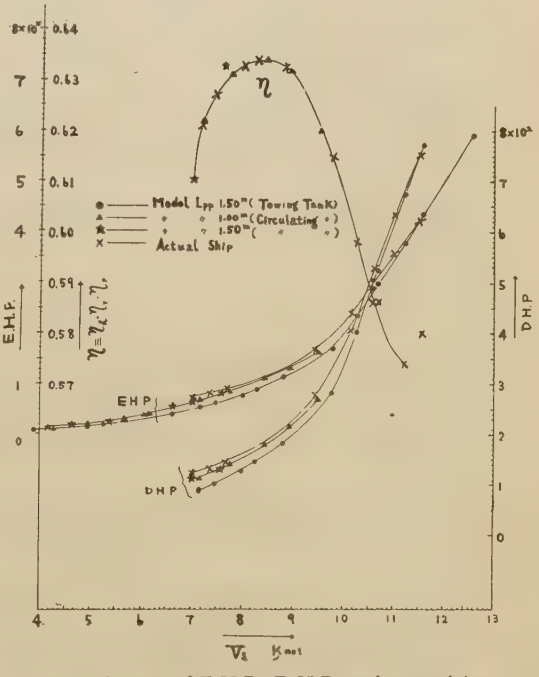


Fig. 2　Curves of E.H.P., D.H.P. and propulsive efficiency for ship speed

資料）を利用し，船殻効率 η_h=1.16, 推進器効率比 η_r=1.02, 推進器効率 η_p はトルーストのチャートの値を使用した。尚比較参考資料として本船完成後行われた公試運転の解析結果を示した。ここに実船の馬力算定の方法は測定指示馬力I.H.P.から主機の陸上試運転時の機械効率 η_m を参考として制動馬力 B.H.P. を出しこれから伝達効率 η_t=0.97 と置いて D.H.P. を計算更に公試運転時Δ 290^{T}の資料をΔ 327^{T}に排水量修正を行なったものである。常用80^{cm}の水深ではモーターの馬力に制約されて高速を得る事が困難であるため回流水槽実験はすべて水深

を 60^{cm} に落して行なった。

4. 考 察

Fig.2 より明かなように実船 D.H.P. は模型換算 D.H.P. のそれぞれに対しかなりの開きを見せている。特に実船摩擦抵抗 R_f の影響大なる低速側で然りである。この点従来も小型船模型実験の信頼度に関し当事者間でもかなり悲観的な見方が行われて来て居り，特に漁船の如く幅の大きい船で著るしいとされて来た。吾々の実験結果に依れば R_f の利く低速では E.H.P., D.H.P. 何れも回流水槽に依る値が曳航水槽に比し，実船値に近く水槽の乱流効果を確認出来た。但し高速になると両者の差は認められず何れも実船値によく一致した。又寸法効果の点では本回流水槽を使用する限り模型寸法 Lppl. 50^m, l. 00^m 間の差異は殆んど認められなかった。水槽水深及び水幅の模型抵抗に及ぼす影響を従来提案されているテーラー及びオットー・シュリヒチングの実験式を使って模型のそれぞれに就て検討したが Lppl. 50^m では回流水槽水深 60^{cm} では多少水深，水幅とも不足気味で高速実験は無理，之に対し Lppl. 00^m では水槽水深及び水幅の抵抗に及ぼす影響を無視してよい結果となった。然しながら回流水槽実験は曳航水槽実験から約3年ずれたためかなり模型自身も歪を来していると見られこの比較試験結果のみで回流水槽の優位性を強調することは未だ適当でないが，同一模型で抵抗値が曳航水槽より常に大きく得られたことは注目に値しょう。

5. 結 論

1. 一般に漁船の如く摩擦抵抗の利く低速 10$_{kts}$ 以下では E.H.P., D.H.P. 何れも曳航水槽試験結果よりも回流水槽の方が実船値に近く，回流水槽の乱流効果を確認出来る。

2. 造波抵抗の利く高速 10$_{kts}$ 以上では，曳航，回流両水槽の差は認められず何れも実船値に近づいてくる。

3. 回流水槽 (14^m×2^m×1^m) に於て大小相似模型 Lppl. 50^m, l. 00^m の間では寸法比の差は認められない。

最後に本実験に協力された学生，姫野五，早水武昭，藤原章，木原武晴の四君に深く謝意を表する。

文 献

1) 奈良迫嘉一：西部造船会々報，10,5 (1955).
2) 有田延，小川貞英：九州造船会々報，11,1 (1934).
3) 奈良迫嘉一：鹿児島大学水産学部紀要，5,64 (1956).

鹿児島湾内産主要魚類の漁況と環境要因についての研究—III

小サバについて

田ノ上豊隆

Studies on the Relation between the Fluctuation in Catch and the Environmental Factors of the Principal Fishes in Kagoshima Bay—III

On Young Mackerel

Toyotaka TANOUE

On the relation between the fluctuation in the catch of young mackerel and the sea conditions in Kagoshima Bay the following results were obtained.

It is during the term from April to Novemberand under the conditions of water-temperature 20～26°C, and salinity of about 33‰ that a comparatively abundant amount of the catch of the young mackerel may be got.

The shift of the shoals of young mackerel was ascertained to be in accordance with the retirement of water-dimensions at the water depth of 50m under the conditions of temperature 20～21°C, Salinity of 30～33.5‰ in the late Autumn.

The variation in the body length of young mackerel lay within the range of 7～28cm, and the average size of the fish was ascertained to be mainly within the range of 10～20cm.

I. 緒　　言

鹿児島湾内にはゴマサバ *Pneumatophorus tapeinocephalus* (*BLEEKER*) とホンサバ *Pneumatophorus japonicus* (*HOUTTUYN*) の幼魚が来游するがホンサバは極めて少く全然来游をみない年もある。

ゴマサバは春から八田網（底敷網類）の漁獲対象となり，秋には一本釣による漁獲もあり，イワシ類小アジ等に次ぐ重要な魚種である。

筆者は1953年から鹿児島湾内漁況に関する調査を続けており，すでに二三の魚種についてはその成果を発表した。

本稿においては，小サバ漁場の海洋構造の特殊性，来游群の体長組成等についてのべる。

II. 漁 況 概 要

小サバの初漁があるのは3月末から4月上旬で漁期は大体11月末頃まで続き，漁具は主として八田網が使用される。桜島以北海区では短期間地曳網，薩摩半島側の谷山沖では秋季一本釣が使用されるが共に漁獲量は少ない。

農林統計に示されている鹿児島海区[1]の八田網による小サバの水揚げは Fig. 1 に示す通りである。図に依って分る如く，漁獲量は年別にかなり変動が認められ来游魚群の資源量の多寡が甚だしい事が窺知できる。一方1954年の如く12万貫余に達する年もあり湾内の小資本漁業にとって比較的重要資源となっている事も想像に難くない。

月別の漁獲量は各年共5,6月と8～10月に顕著なピークが現われ，其の他は一般に低調で

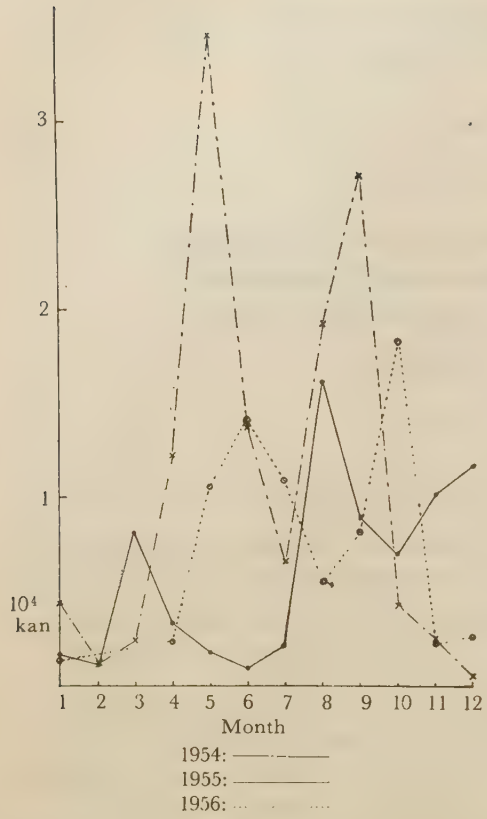


Fig. 1 Catch of mackerel in Kagoshima Bay from 1954 to 1956.

漁場は湾口附近にも形成され，長崎鼻の北部海域では12月まで漁がある。

又6月頃から桜島以北海区においても短期間魚群の来游が認められ，牛根，浜ノ市沖で漁獲される年もあるが量的には少ない。山川港内や鹿児島港内其の他桜島以南の入江等には夏季に岸近くに群泳し網や釣で漁獲される。沖合の主要漁場に較べると漁獲量は少なく漁場価値は低いが，幼魚群が斯くの如く岸寄りに群来して索餌する事は生態的に興味ある現象であり，幼期に接岸性を持つ事が明らかである。

鹿児島湾内のマイワシ，ウルメイワシの漁場[2]に比較してゴマサバ幼魚の漁場は沿海の浅海に形成されており幼期には環境に対する適応性の広い事も窺知できる。

ある。特に12月から3月までの冬季の漁獲量は最も少なく，内訳は湾外漁場の水揚によるものが大部分を占め湾内の漁獲量は殆んど含まれていない。

冬季の漁獲量の減少は天候其の他の気象条件に左右されて操業が思うように行われない理由もあげられるが魚群の移動が最も大きな原因となっているようである。

漁場はFig. 2に示した如く，初漁期は大隅半島側の根占附近から古江に至る沿海と今和泉沖の比較的浅海に形成されるが，6月以降漁場の重心は谷山沖から今和泉にいたる50m等深線附近とその岸寄りの浅海に移り，漁期は11月頃まで続く。この頃から

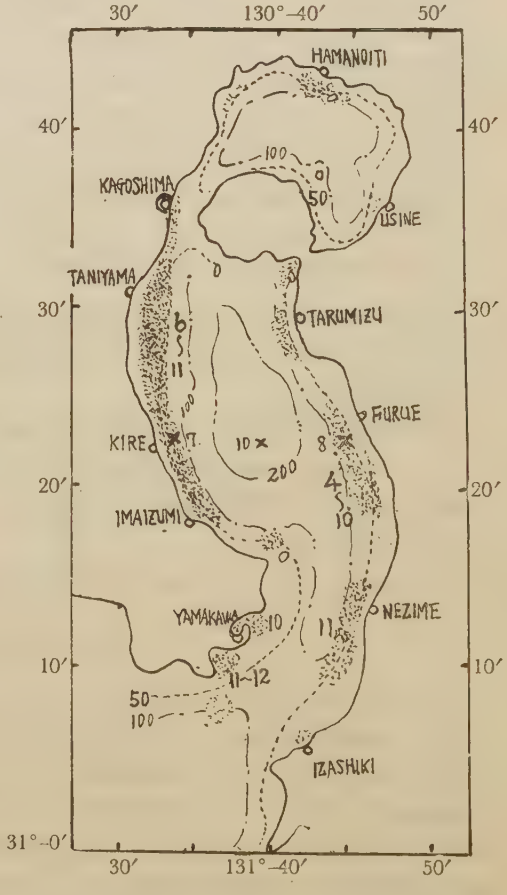


Fig. 2 Fishing ground and fishing season.

漁場の動きを漁期別に辿ると魚群は春黒潮系の外洋水の流入路[3]となる大隅半島沿いに湾内に来游し根占一垂水沖に達し更に薩摩半島側の今和泉沖に来游して索餌滞留する。

一部の魚群は桜島西岸沿いに北部海域に達する。晩秋湾内の水温が低下すると魚群は知林島以南の湾口部に移動し後沖合に去るものと推測される。

III. 体 長 組 成

1954年以降の鹿児島湾内におけるゴマサバ幼魚の体長組成は Fig. 3 に示す通りで，魚体は 7～28cm におよぶが主として 12～20cm 体長範囲のものが漁獲され，成魚群の漁獲記録

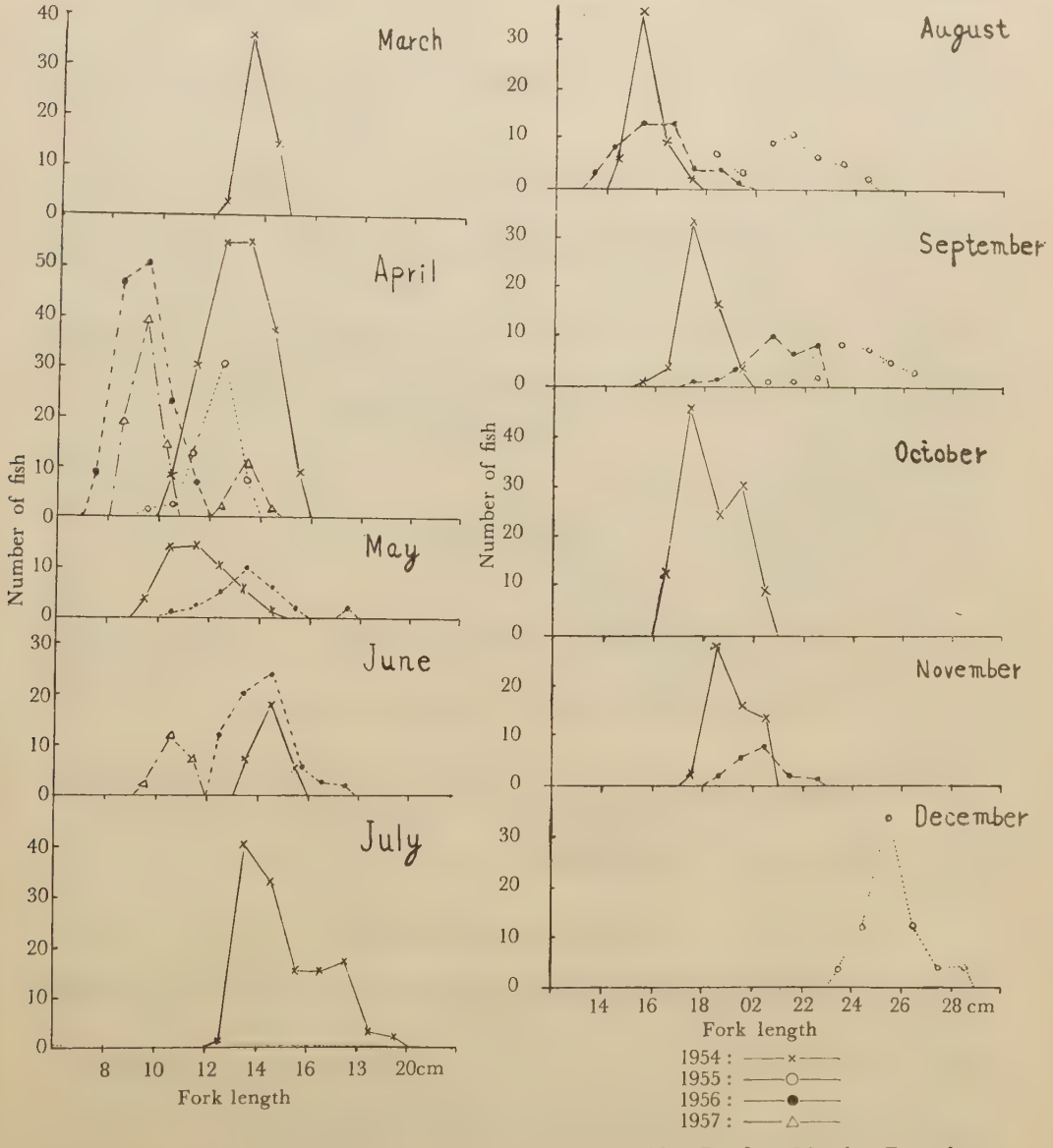


Fig. 3　Body length distribution of young mackerel in Kagoshima Bay from March to December.

はない。佐多岬周辺においては例年5月頃から7月頃まで大型魚が漁獲されるが，湾口附近では今まで認められないので成魚は湾内に来游する事はないものと判断される。

例年漁獲対象となる群は3月末から4月には体長の mode が 12～13cm 程度に現われる稍生長の早い群と 9cm に mode を持つ小型群の両型が認められる。図によってわかる如く 1956,'57 の両年には小型，1954,'55,'57 年には生長の早い群が来游しており，年別にも又同年中においてもこの両型が明らかに認められるのである。

生長の早い魚群が先に来，続いて小型魚群が来游すると云う原則的な考えを採ってみてもその差はかなり大きく，之等の群はむしろ発生期の異る群と考える方が妥当である。

5月頃までは体長 mode の移行は明瞭でなく 13cm 或いはそれ以下に現われており，この時期には引続き小型魚群の添加されていることが明らかである。

6月からは概して mode の移行が早く，夏季には 13～18cm の体長範囲が最も多く出現している。

10, 11月になって魚体は 18～20cm に mode を有する程度に生長するが，9月頃から再び mode の移行が認められず，体長範囲も大型がみられない。一方 20cm 以上に生長した魚群は同時期から開聞岳沖から湾口周辺において巾着網，八田網で盛んに漁獲[4]されるようになる。従って，生長の早い群は晩秋の湾内水温降下期を待たずして，生態的な環境適応性の変化から沖合に移動し，小型群だけが湾内に残る為ではないかと考えられる。

異特現象としては1955年の 8, 9 月に 18～26cm の中型魚群が出現している。この様な魚体は現在まで他に例がなく同年12月にその同系統と推定される 23～28cm の体長群が湾口附近で漁獲されており夏季に一時的に来游して晩秋湾口に移動したものと推測される。

体長分布の範囲が7, 8cm以上に限定されている点については漁具の選択性も考慮されねばならないが，使用される八田網では3月にカタクチイワシが主として漁獲されて居り，小サバの混獲が認められないので，鹿児島湾内には7～10cmに生長してかなり游泳力を備えるようになった群が来游するものと推定される。

3～6cm 程度の幼魚は3月上旬から4月はじめに奄美大島から屋久島方面においては岸近くに来游し抄網等で漁獲され，稍遅れて硫黄島周辺に来游[5]する。漁期的には鹿児島湾がこの後に続き体長組成においても稍生長した群となって現われるので之等南方の島嶼周辺に来游する魚群が游泳力を備えるようになって適温域を求めて索餌回游して来るものと推測される。

屋久島北方海域から佐多岬沖合もゴマサバの産卵場となるのでこの海域における発生群も加わっているものと考えられるが明らかでない。近海の産卵盛期[6]は3月と推定されるので5月に湾内に現われる小型魚群は沿海における発生群に属するのかも知れない。

IV. 漁況と水温・塩分の変動

漁場水深，漁具性能等から魚群の来游に最も影響を及ぼしていると思われる 25m 層の1954年以降の毎月上旬の水温の分布を Fig. 4 に示した。

年間の水温変化を観察すると 2, 3 月に 15～16°C 台で水温は最低に降下し，魚群の来游する6月には各年共 20°C 以上に昇温し，夏季には 26°C 台に上昇している。10月頃から水温は降下しはじめ12月には21°C程度に降り此の頃から水温は急速に低下し1月には16～17°C の低水温となる。

年別では4,5月の昇温期と夏季に稍変差が認められるが，其の他の時期には大きな相違はみられない。6～10月の盛漁期の水温は20～26°C範囲にあり成魚の適水温範囲と同程度である。

4月から5月上旬の水温は17～19°C程度にあるので魚群の来游時の水温は稍低いようである。

漁場とその周辺海域における水塊の構成をFig. 5のT—S diagramによって観察してみよう。図中st. 12は薩摩半島側の漁場の定点，st. 10は湾中央部の定点，st. 8は大隅半島側の漁場における定点である。

このT—S diagramによると，主漁場となる谷山沖(st.12)の上層(0～10m)は6月，9月共に高温で30～32‰程度の低鹹水が認められ，25～50m層は稍高鹹となっているが50m層で漸く34‰に達する程度にすぎない。75m以深は低温(16～20°C)，高鹹(34～34.5‰)な湾内固有水塊がみられ時期的な変動は小さい。

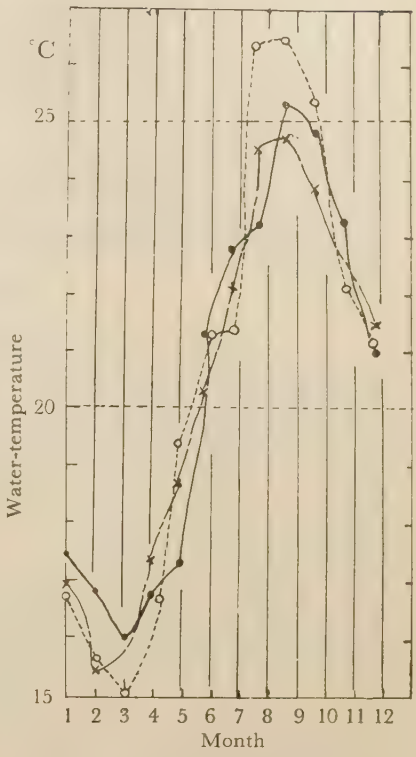


Fig. 4 Distribution of water-temperature (°C) at 25m layer of st. 12 from 1954 to 1956.
1954 : ——●——
1955 : ——×——
1956 : ——○——

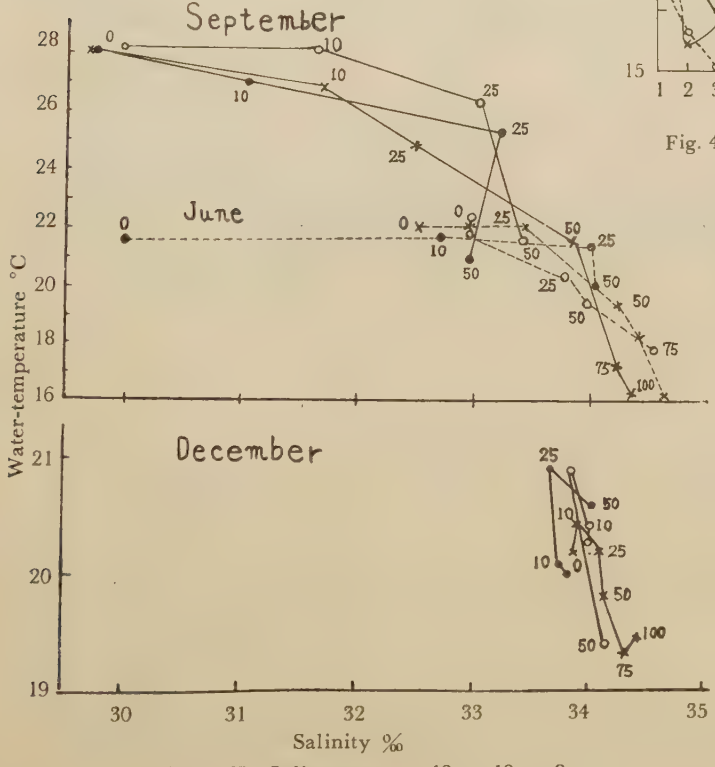


Fig. 5 T—S diagram at st. 12, st. 10, st. 8
st. 12 : 31°-22.7′ N, 130°-34.5′ E
st. 10 : 31°-23.9′ N, 130°-39.0′ E
st. 8 : 31°-25.0′ N, 130°-43.4′ E

12月には表層附近の低鹹水は消失し全体的に水温 20°C, 塩分34‰前後の稍高鹹水となって，垂直的に水塊の相違は明瞭でない。

即ち水塊は表層から 25m 層附近までの 30～33‰程度の低鹹水と 25～50m 層にみられる33‰台の稍低鹹な混合水，75m 以深の34～34.5‰程度の高鹹水の三水系が認められる。

魚群はこの内の混合水系に来游して漁場が形成されるが，12月上旬頃になって混合水が衰退すると魚群は湾口附近に移動することが予想される。

湾中央部の混合水域では漁具の性能の関係上操業不可能な為漁獲記録はなく魚群の棲息状況は良く解っていない。

V. 要　　約

鹿児島湾の小サバ漁況と海況について考察し次の結果を得た。

小サバの主漁場は谷山一今和泉沖と根占一垂水沖の 50m 以浅の海域に形成される。

漁期は 4～11 月で，水温 20～26°C, 塩分33‰程度の水域で漁獲がある。

晩秋 0～50m 層における水温 20～21°C, 塩分30～33.5 ‰ の水塊が衰退すると小サバ群は湾外へ移動するようである。

漁獲される小サバの体長は 7～28cm 範囲におよぶが，10～20cm が大部分を占めている。

終りに湾内観測を担当した練習船隼人丸の高橋船長以下乗組員各位，資料の整理に援助を頂いた池田弘，山本三生の両君等に深く感謝の意を表する。

文　　献

1) 鹿児島農林水産統計年報：昭和27～31年度鹿児島統計調査事務所

2),3) 田ノ上豊隆・江波澄雄：ウルメ，マイワシ漁況と水温，塩分について，鹿大水産学部紀要Vol. 3, No. 2. 1954.

4) 金森政治外：対馬暖流発開調査資料第1～第4号，鹿大水産学部 1954～1957.

5),6) 田ノ上豊隆：薩南海域産ゴマサバの産卵期の考察，鹿大水産学部紀要 Vol. 5, 1956.

魚類燻製品の研究

—燻製品中のホルムアルデハイド量について—

越智通秋

Studies on the Smoked Fish

—The Amount of Formaldehyde in the Smoked Fish—

Michitoshi OCHI

In the process of Saury-Hot-Smoking, the amount of formaldehyde contained was put under measurement.

It was after the lapse of about 6 hours, and at the temperature of 50°C reached through a crescent heating that 7～15mg% of the contained amount was left; with the fish-meat heated into a edible state.

No increase in the amount was to be seen in case of the fall of the temperature once lifted up to a fixed degree took place.

Though needless to say, in considering the preservative capacity of smoked goods the decreasing rate of moisture should be a main factor.

魚類燻製品についての研究，報告は従来数多くなされている。だがその保蔵性，芳香，色沢等についてのものは少ない。特に保蔵性の関係についてのものは畑,[1] 石尾[2] によって食品取扱いの研究がなされ，増田等[3] によって魚脂と抗酸化性についての貴重な研究がなされているに過ぎないと思う。

而して以上は何れもその保蔵力を主とした，いわゆる冷くん法についてのものである。最近，嗜好の向上と消費の迅速性は香味を主とし保蔵力を軽くみる美味な温くん法によるものが発展登場し，時々罐詰製造の前処理にもなりつつある。

そこでこの温くん製について，一応冷くんの考察のもとにその保蔵効力成分と認められているところのホルムアルデハイドについて，温くん製造過程と並行して些少な定量実験を行った。

実験方法

1. くん材は本来のかし材は求められぬので樹脂少なしと判断して杉鋸屑と火力誘導材として樫の粗朶を用いた。温度の上昇を図るためにはこのそだを量多く用いた。くん室はブロック建 1k×1.5k のものによった。

2. 試料はサンマでこれは水戸業者による鹿児島市場物で 1 函 2 貫48尾(1尾平均150g.)のうす塩ものを用いた。

3. 測定部位は皮部と肉部とした。

4. 定量法

Carbonyl value を求めて定量値をホルムアルデハイドとして算出した。

その方法は G.R. LAPPIN & L.C. CLARK[4] 法を太田[5] により改良法とせられたものに従った。

試料は予め 2～10g. 採って 100c.c. に蒸気蒸溜し，その溜液 5c.c. に 2.4 Dinitrophenyl-hidrzine 液 (2N-HCl中に 0.5 %量溶解) 0.2cc. を加え，100°C にて 2 分間加熱し直ちに

冷却し，さらに氷水中にて5分間以上冷却して，これに予め冷却しておいた5% NaOH1c.c. を加えて混和し，そのまま氷水中におき，その後5～10分間の間に Filter BG. 5mμ にて比色した。その吸光値を表照してホルムアルデハイド量とした。

実 験 結 果

第1表はその結果で第2表はくん煙時間及びその時の温度経過である。

Table 1. Formaldehyde content in hot-smoked fish
(Saury サンマ : *Cololabis saira*)

	hrs.	skin	muscle	moisture
		mg. %	mg. %	%
a)	0	3.5	4.2 (Dressed)	74
	2	5.2	—	—
	6	—	7.4 (〃)	58
	18	13.6	6.0 (〃)	52
b)	4	15.0	1.8 (Round)	67
	12	11.5	1.4 (〃)	—
	24	14.2	5.8 (〃)	39～44
c)	Cold smoked herring	4.2	1.55 (Round)	34

Table 2. Smoked hours and temperature

Days	1		2			3		
hrs.	clock	temp. c	hrs.	clock	temp. c	3hrs.	clock	temp.c
0	8 am.	27	(Cool and dry)			(Cool and dry)		
2	10	40						(Finish)
4	12	57		12	22		12	
6	14	45	16	14	50			
8	16	45	18	16	45			
10	18	44	20	18	48			
12	20	45	22	20	55			
14	22	45	24	22	54			
	(Settle)		(Settle)					

考 察

以上第1表によれば，a) の肉質部のホルムアルデハイド量は原料を塩蔵後開腹し内臓を除去したものであるから b) より多量な成績を示したものと思われる。

1. 温くん製として完成の程度

肉質が熱凝固することなく，くん温により醸熟し，充分可食の域に達し，美味なるべきものである。

以上の程度に徴して2時間くん温のものは，たとえホルムアルデハイド量が c) の対照としたニシンの冷くんより多くても，未だ魚体中骨附近は生であって勿論可食の域ではない。

4時間経過のものは，そのくん温の上昇が57°C にも及んだだけに，これは中骨附近肉も醱熱していて，可食美味で，このあたりで（水分58%）一応本来の温くんは小魚の場合完成の限度と考えられる。

而して保蔵性に関係すべきアルデハイド量もa)肉部では7.4mg %を示し，にしん冷くんよりは遥かに多量である。こうした初期の数時間において滲透含有することを示した。

2. 水分含有量と保蔵性

中間試験として以上の6時間処理の温くん試料をビニール袋に密閉して，室内（±20°C)に放置したが，約3日間にして水滴を放出し可食やや困難となった。

従って保蔵性を増大するためには，くん蒸による脱水作用を促すことが肝要となる。

而し水分の含有量が55%以下となったものは，すでに温くん製ではなく冷くん製に近いものと断じ得る。

このことはアルデハイドの含有量よりも保蔵効果は脱水による方が遥かに大きいことを冷くんと対比して考える。

3. ホルムアルデハイドの含有量

一応24時間に亘ってくん煙経続により，その経過と共に試料においての含有量は増大したが，表示結果のように時間と共に累増せずして4時間目，18時間目，24時間目（第2表対照）における，くん熱の50°C 以上に達した場合著増を示している。

しかるに4時間目より12時間目までは（表b)）明かに減量さえ示している。

即ち一応含有量が増大し，以後停頓乃至は減量するのは，その当時のくん煙温度に大いに関係あるものと考えられる。

それは一応加熱によって油水が魚体から滲出し，特に魚肉蛋白の熱凝固変化が50°C 程度とするならば，その滲出液に対しくん煙成分中のアルデハイド及びくん煙成分の芳香族化合物が，何れも脂溶性であるところから滲透溶解し，これが漸次肉質内細胞間隙乃至は細胞質まで滲透する。ところで一旦上昇した温度がそれより下降すれば，体液の滲出作用が鈍るか停頓するし或はアルデハイドによって反って緊縮もする。しかし依然加温中のことであるから一応溶解したアルデハイドの一部は逆に乾燥という脱水蒸発と共に逸散するであろうと考えるのである。

従ってアルデハイドの含有量を順調に増大させるためには，徐々にそのくん煙温度を上昇せしめる一途をたどり最高温度で終了すべきで，又は脱水を促進して結局濃縮度を考えることが順当と思う。

冷くんの場合は脱水とアルデハイド等による肉緊縮作用に因るところが大きいと思う。

本実験の場合，アルデハイドだけの含有量はすでに4～6時間のくん温で足りていると考えるし，以後は着色その他を兼ねた主に脱水処理とみるべきであろう。

又別に Finnan Haddie のような無脂肪くん製は別例として，一般にくん製原料には多脂魚を適当とすることは，アルデハイド乃至は芳香族化合体が相当脂溶性であることについて首肯し得ると思う。

結　　言

魚類の温くん製について，さんまを用いその製造過程と共に含有されるホルムアルデハイドの量を測定した。くん材には杉鋸屑と若干のかしのそだを用いた。

その結果6時間のくん蒸と，最終温度 57°C で醸熟したサンマ温くん製を得た。

アルデハイドの含有量は開腹魚の肉質部で 7.4mg % であった。しかしこれは，ビニールで密閉するも室温（±20°C）で3日間の保持困難であった。その水分含有量は58%であった。従ってくん製の保蔵効果はアルデハイド等によるよりも明かに脱水程度によることの大きいことを示した。

以後同試料を24時間（冷くん同様に）くん乾したが，ホルムアルデハイドは皮部において 14.2mg % が最大量で肉質の含有水分は39～44%であった。

次にアルデハイドの滲透増加量は温度の上昇に伴って増大を示したが，その温度より下降すると増大を示さず反対に減少量さえ示した。水分の減少によりそのままでも含有量としては増大せねばならぬと考えるのに減少をも示した。それはアルデハイドによる肉緊縮にも関係があって滲透作用が一時停頓するのではないかとも考えられるが，主として持続して行われるくん蒸による脱水作用に伴って一部逸散するものと考えた。又アルデハイドが内部に滲透し固定しないのは，油脂の熱による粘稠度が変質するによるとも考えた。

終りに本実験に寄与を賜った本教室，製造工場各位に深甚の謝意を表します。

文　　献

1. 畑秀太郎：諸燻製肉類（豚鮭鰊秋刀魚）中フオルムアルデヒドの検査について，薬学誌，432（1918）
2. 石尾正文：燻製肉に於けるフオムアルデヒドに就て薬学誌，443（1919）
3. 高橋栄治，増田義一：魚類燻製品の油について（第1報，燻製鰊油の抗酸化性）日農化，14（1938）
4. G. R. Lappin & L. C. Clark : Determination of carbonyl compounds. Anal. Chem. 23. 541 (1951)
5. 太田冬雄：魚介肉中の揮発性カルボニル体について，日農化，北海道支部大会（1955）

ビューレット試薬による魚肉蛋白質の迅速定量-I

呈色反応の促進と発色液の濁りの除去※

大　城　善　太　郎

Rapid Determination of Proteins in Fish Muscle through Biuret Reagent- I.

Acceleration of Color Reaction and Removal of Turbid Substances yielded in the Color Solution

Zentaro OOSHIRO

A rapid method of the colorimetric estimation of the modicum of protein in fish muscle under the use of biuret reagent (modified Sol's reagent) was put under examination, with the following procedure ascertained.

After taking 5ml. of sample into a colorimeter tube in which 0.5 to 4.5mg. protein-nitogen was contained, 5ml. of biuret reagent was added. Then, after a well mixing, it was heated for 1 minute at 100°C on a water bath, to accelerate the color development. Although, the maximum color development required 1 minute, the development itself occurred almost immediately. Then, the colorimeter tube was cooled in a running water for about 1 minute.

And with the purpose of removing the turbid substances yielded, 1 ml of reagent mixture (20% $MgSO_4 \cdot 7H_2O$—35% $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$) was added to the above mentioned colored solution.

Then, those substances were adsorbed by the colloidal magnesium hydroxide prepared with magnesium sulfate and sodium hydroxide in biuret colored solution, in this case the former was added after being well mixed by the vigorous shaking for a spell of several seconds. The mixed solution was filtered after 2 minutes standing.

The optical density of the filtrate was read at the wave length of 530 mμ.

By the proposed method, the determination of protein was to be done with comparatively correct accuracy, the error, compared with that of Kjeldahl value, being to be kept within the range of ±2%.

I 緒　　言

ビューレット反応を利用して蛋白質を定量する試みは甚だ多い。その根拠はこの呈色反応が他の数多くの呈色反応のように蛋白質中の特殊なアミノ酸に対する反応であることとは本質的に異なり，蛋白質中のペプチド結合に由来するために蛋白質の種類による発色率も略一定していると云う大きな特色があるからである。魚肉蛋白質の定量にこの反応を適用した代表的研究は SNOW,[1] 松本等[2] であろう。殊に松本等は魚肉抽出液に多く見られる発色液の濁りを除去することについて研究している。

筆者は呈色反応の加熱促進と濁り成分の吸着除去法について検討し，迅速定量法を確立し得たので，茲にその概要を報告する。

実験並びに考察

I 試薬及装置

1. ビューレット試薬

10% NaOH, 0.4% $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, 0.2% グリセリン

調製法；予め20% NaOH, 0.8% $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ を調製しておく。20% NaOH 50ml にグ

※ 日本水産学会秋期大会（長崎，1955）にて発表

リセリン 0.2ml を攪拌し乍ら徐々に滴加する。次に 0.8% $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 50ml を攪拌しつつ加える。この試薬は室温に放置しても，かなり長期間安定である。

2. 硫酸マグネシウム—硫酸亜鉛混合溶液

20gr. の $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ と 35gr. の $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ を蒸溜水で溶解し 100ml とする。

3. 光電比色計

島津製 AKA 型，フイルター 530mμ，キューベット 10mm

II 定量操作

検液 5ml を試験管にとりビューレット試薬 5ml を加えてよく混和し，沸騰水浴中に 1 分保ち，後水道水で冷却する．之に硫酸マグネシウム—硫酸亜鉛混合液 1ml を加えて数秒間はげしく振盪混和してから 2 分放置する。No.2 (9cm) 濾紙で濾過して清澄透明な呈色液を得る。之を 10mm のキューベットに移し 530mμ で比色する。

III 定量法の吟味

1. ビューレット試薬の安定度

呈色反応を加熱促進するには試薬がその処理温度で安定であることが先決である。松本[2] は発色液を沸騰水浴中で加熱し得ることを述べ，太田[3] もその可能なことを実験している。周知のように多くのビューレット試薬は加熱操作に対して比較的不安定であり，場合によっては簡単に水酸化第二銅の沈澱を生ずるものである。既知のビューレット試薬中で後述の濁り除去操作を妨げず，而も加熱に対して安定なものは SOLS[4] の試薬であろう。そこでこの SOLS の試薬について安定度を吟味して見た。一般に試薬中の NaOH の濃度が高くなる程安定化することを認めたので，NaOH の濃度を8% (原法の濃度)，10%，15% となるようにビューレット試薬を調製し，之に同容の蒸溜水を加えてよく混和し (定量時の Blank test に相当する)，沸騰水浴中に保ち，水酸化第二銅の沈澱し始める迄の時間によって安定度を比較した。結果は第 1 表の通りで原法の8% NaOH- 試薬では30秒位で既に沈澱し始め定量には使用出来ないものと思われた。10% NaOH- 試薬は少なくとも 3 分間は安定であり，後述の発色の完結が 1 分でなされることからこの程度の濃度で充分と考えた。

第 1 表 沸騰水浴中での加熱処理に対するビューレット試薬の安定度に及ぼす NaOH 濃度の影響

試薬の NaOH 濃度 (%) ＼ 加熱時間 (分)	0.5	1	2	3	4	5	10
8	±	+	+	+	+	+	+
10	−	−	−	−	±	+	+
15	−	−	−	−	−	−	±

○安定度は水酸化第二銅の沈澱生成の有無で表示す。(−, ±, +)

−：水酸化第二銅の沈澱全くなし。試薬安定

±：〃 沈澱生成す？ 定量的使用の限界

+：〃 沈澱生成す。 試薬は定量目的には使用出来ない。

○操作は，ビューレット試薬 (NaOH 8, 10, 15%) に同容の蒸溜水を加えて行なったものである。

2. 発色に及ぼす煮沸時間の影響

蛋白質溶液に等容の10% NaOH-SOLS のビューレット試薬（以下単にビューレット試薬と記す）を加えて沸騰水浴中で発色させると，第2表のように1分で完結し，それ以上5分の加熱でも呈色値には変動がなく呈色物も全く安定である。

第2表　発色に及ぼす加熱時間の影響

加熱時間 (分)		0.5	1	1.5	2	5
吸光値	試料 1	.570	.620	.620	.620	.621
	〃 2	.300	.317	.316	.316	.317

3. 発色液の濁りの除去

a. $Mg(OH)_2$- 膠状沈澱の吸着能を活用して濁り成分を吸着除去する

魚肉抽出液殊に NaCl 若くは KCl 抽出液は多くの場合濁って居り，之にビューレット試薬を加えて反応させると一層濁るようになる。濁った発色液の呈色値を比色計で測定して，定量することは精度の上から殆んど不可能に近いことである。濁り成分については松本の研究があり，少なくともN化合物ではなく，Phosphatide であろうと考えられている。濁りの程度は同一魚肉の抽出液でも呈色温度及び時間によっても異なって来るから，その除去はこの定量方法を確立する上からも極めて重要なことである。松本[2] は呈色液を一夜放置後遠心して除去するとか，呈色して3時間後に No. 3 ガラスフイルターで濾過して濁りを除去することに成功したと報告している。この方法は極めて簡単であるが，濁りを完全に除去し得ない例も出て居り，定量の迅速性と云う面から見れば尚満足すべき方法とは云い難い。

筆者は濁り成分を吸着によって即座に且つ完全に吸着除去する方法について検討し，呈色液（5% NaOH 相当溶液）に $MgSO_4$ 溶液を加えて $Mg(OH)_2$ の膠状沈澱を生成させ，その有する吸着能を活用して濁り成分を吸着させ之を濾過することによって全く清澄透明な呈色液を得ることが出来た。

この方法は甚だ興味あるもので，他にも応用し得るものと信じている。尚 $MgSO_4$ の外に之と類似した膠状の水酸化物を与える Zn, Mn, Al 等の塩類についても実験したが，何れも効果はなかった。

b. $MgSO_4$ の添加量

サバ肉の 1M-KCl 抽出液 5ml に Biuret 試薬 5ml を加えて沸騰水浴中で1分反応後冷却し，20% $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ を種々量加えて振盪混和して濾過し，濾液の透濁を検した。第3表はその結果で反応液 10ml に 20% $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 1ml 加えれば濁りは完全に吸着除去し得ることがわかった。

第3表　発色液の濁りの除去と $MgSO_4$ の添加量

20% $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 添加量 ml.	$MgSO_4$ 添加処理 ($Mg(OH)_2$ による吸着) した濾液の状態
0.25	混濁，比色不可能
0.5	微かに混濁，〃　〃
1.0	清澄透明，比色可能
1.5	〃　〃　〃
2.0	〃　〃　〃

C． 吸光値に及ぼす $MgSO_4$ 添加量の影響

$Mg(OH)_2$ の膠状沈澱は濁りを吸着除去するから，ビューレット呈色物を吸着することも考えられる。卵アルブミン溶液（発色液は濁らないから結果の解析が容易である）について前述の如く呈色させ，各濃度の $MgSO_4$ 溶液を 1ml 宛加えて振盪混和し，2分後濾過して濾液の吸光度を測定した。その結果は第4表に示す如く，$MgSO_4$ の濃度（添加量）が増大するに従い吸光値は急減し，明らかにビューレット呈色物が吸着されたことを示している。このことはビューレット反応の缺点とも目すべき低感度を一層助長することになり，仮令濁りは完全に除去し得ても定量方法としては満足すべきものとはならない。

第4表 吸光値に及ぼす $MgSO_4$ 添加量 ($Mg(OH)_2$ による吸着)の影響

$MgSO_4 \cdot 7H_2O$ の濃度 (%)	0 (Control)	5	10	15	20	25	30	40
吸光値	0.412	0.405	0.355	0.302	0.260	0.245	0.232	0.200

備考： $MgSO_4$ の添加量はビューレット呈色液 10ml に各濃度の $MgSO_4$ 1ml 加える方法で比較してある。

d. $MgSO_4$-$ZnSO_4$ 混合液を用いると吸光値の低下なしに濁りのみを除く事が出来る

$Mg(OH)_2$ の濁り成分吸着能を阻害せず，ビューレット呈色物の吸着作用のみを選択的に遮蔽（マスキング）する方法について種々検討した結果，$MgSO_4$-$ZnSO_4$ の混合液で除濁操作することによって上記の目的が完全に達成し得られることを見出した。(この興味ある事実の解明も必要であるが，ここでは之れ以上立入らないことにする。)

即ち20% $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ に種々濃度になる様に $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ を加えた混合液をサバの 1M-KCl 抽出液のビューレット呈色液に加えて除濁操作を行い，$ZnSO_4$ の濃度の増加に伴う吸光値の変化を求めて見た。之等の結果は第5表の通りである。

第5表 膠状 $Mg(OH)_2$ によるビューレット呈色物の吸着に対する Zn^{++} の阻止効果

20% $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ に含まれる $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ の濃度 (%)	0	10	20	25	30	35	40
吸光値	0.310	0.415	0.531	0.555	0.583	0.615	0.615

これで明らかなように $ZnSO_4$ の添加によって吸光値の低下が抑制され，35%以上の時には完全に阻止される。得られる呈色濾液も全く透明であることから Zn^{++} は $Mg(OH)_2$ の濁り吸着作用を全く妨害しないことも理解される。

以上のことから呈色液 10ml に 20% $MgSO_4 \cdot 7H_2O$- 35% $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 混合液 1ml を加えて除濁操作することが最適と思われた。

e. 呈色反応後の過剰の Cu は $Mg(OH)_2$ 処理と濾過時に完全に吸着除去される

ビューレット反応後，未反応（過剰）の Cu（正確には錯イオン）は $Mg(OH)_2$ で除濁する際に吸着されて殆んど除かれる。而して僅かに残った Cu は後に行う濾過の際に濾紙に吸着されてしまう。従って本法によると蛋白質の種類によって異るといわれる呈色調も判別出来る利点がある。

4. 共存物質の影響

ビューレット反応は純蛋白のみでなくPeptideも之に参加することは既に明らかな事実である。又SNOW[1]は呈色に影響する低分子のものとして，NH_4, Urea, Histidine, Serine, Threonine等を挙げているが，之等のものが実際に定量値にどの程度影響するかを確かめて見た。即ちサバの1M-KCl抽出液（1.74mg-protein/ml）5mlに表示の如き量を添加して蛋白質を定量しそれ等による定量値の誤差を求めた。

第6表から明らかなように，従来よく云われている呈色影響物質はそれ程大きな影響を示さず，実験誤差の中に含まれてしまう程度であることが明らかとなった。而し特にビューレット反応陽性物質を多く含むような試料はトリクロール酢酸等で一度蛋白質のみを沈澱してから呈色させればよい。

第6表 共存物質の呈色値に及ぼす影響

添加物	(mg.)	吸光値	蛋白質定量値 (mg.)	誤差 (%)
対照	−	.263	8.7	
$(NH_4)_2SO_4$	0.5	.262	8.65	−0.7
	2.5	.263	8.7	0
	5.0	.264	8.75	+1.0
Urea	1	.263	8.7	0
	5	.264	8.75	+0.5
	25	.264	8.75	+0.5
Histidine	0.5	.265	8.89	+2.0
Serine	0.5	.267	8.90	+2.0

5. 各種魚肉蛋白質並卵アルブミンの吸光係数について

ビューレット反応が魚種或は蛋白質の種類によらず一定の吸光係数を与えるならば，操作の簡易迅速性と相俟って甚だ優れた定量方法となり得る。

タイ，アジ，サバ，イワシ，サメ肉の5% NaCl (0.02M $NaHCO_3$) 抽出液，並に卵白アルブミン等をトリクロール酢酸で純蛋白のみを沈澱させて精製した後キールダール法で窒素を求め，之に6.25を乗ずる慣例に従い蛋白質を定量し，それぞれの試料蛋白溶液を稀釈して5ml中に10mgの蛋白質を含有するようにして呈色反応を行い吸光係数を求めた。

第7表から単位蛋白量当りの吸光係数は魚種に関係なく略一定である。又卵白アルブミンも魚肉の抽出液の場合と殆んど一致した値を示した。

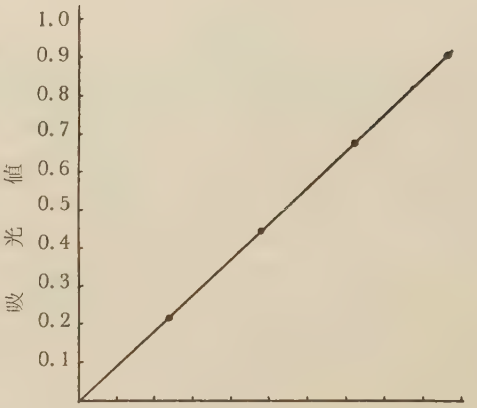
第7表 各種魚肉蛋白質のビューレット試薬による発色の吸光係数

魚種	吸光値
タイ	.300
アジ	.302
ヨシキリザメ	.303
マイワシ	.302
サバ	.297
卵白アルブミン	.303

6. 蛋白量と呈色度との関係

予めキールダール法で蛋白濃度を決定した新鮮なサバ肉の5% NaCl 抽出液について前述の如く操作して呈色せしめ，530mμ で比色し，呈色度と蛋白質の濃度の関係を求めた。

第1図の如く蛋白濃度が 0.9mg-N/ml までは Lambert-Beer の法則に従う。



第一図 魚肉蛋白質の検量曲線

総 括

魚肉蛋白質をビューレット試薬によって迅速に比色定量するための条件を検討し次の事を明らかにした。

1. 呈色反応を加温促進するための，加熱に対し安定なビューレット試薬を調製した。
2. 沸騰水浴中で発色させると反応は1分で完結する。
3. 魚肉抽出液にビューレット反応を行うと例外なく濁り，比色定量が不可能に近くなる。
4. 発色液に $MgSO_4$ 溶液を加えて生ずる $Mg(OH)_2$ の有する吸着能を活用して完全に濁り成分を吸着除去することが出来る。
5. $Mg(OH)_2$ の膠状沈澱は濁り成分を吸着すると共にビューレット呈色物をも吸着するが，反応液に Z_n^{++} を共存せしめることによって後者の吸着が完全に抑止される。
6. 呈色の極大吸収は 530mμ 附近にあり，蛋白濃度 0.9mg-N/ml までは Lambert-Beer の法則に従う。
7. ビューレット試薬による発色率は魚種に関係なく略一定である。

終りに臨み御指導を賜った本学高田教授並びに越智教授に謹んで感謝の意を表する。なお本実験の遂行上有益な御助言を戴いた太田助教授にも深謝する。

文 献

1) J. M. Snow : J. Fish. Res. Bd. Can., **7**, 594～598 (1950)
2) 松本重一郎，金光庸俊：日水誌；**21**, 284～288 (1955)
3) 太田冬雄：未発表
4) A. Sols : Nature ; **160**, 89 (1947)

ビューレット試薬による魚肉蛋白質の迅速定量—II
固形試料の直接定量について※

大　城　善太郎

Rapid Determination of Proteins in Fish Muscle through Biuret Reagent–II.
An Application for Direct Determination of Protein in Solid Sample

Zentaro OOSHIRO

With all the detailed reports on the colorimetric determination of proteins in fish muscle with the use of Biuret reagent, very few attemps were made for the estimation of proteins in a solid state.

So, some studies were made on this problem, and the wished for result was got by the "Direct Protein Reaction" method, with the aid of the procedure of dissolving it by NaOH in Biuret reagent with no destruction of the peptide bond in protein.

Far less amount of sample than that of Kjeldahl method was needed in the new method, and it was done within only the lapse of time from 15 to 20 minutes.

緒　　言

先に筆者[1]は，魚肉抽出液中の蛋白質を迅速に定量する目的から，ビューレット反応を適用して，呈色の促進と濁り成分の除去方法について検討し，略満足すべき条件を見出し，その大要を報告した。

ビューレット反応を用いて定量する試料は蛋白質溶液である。而し乍ら蛋白質工業の分野とか或は栄養学的な研究では，定量対象となるものが必ずしも蛋白質溶液のみでなく，固形の蛋白試料を直接定量する場合が可成り多い。

筆者はこのような固形試料中の蛋白質の定量にビューレット反応を適応させることにつき種々吟味し，略満足すべき定量方法を確立することが出来た。本文ではその大要を報告する。

実　験　方　法

I. 試薬及び装置　（前報[1]と全く同じものである。）

ビューレット試薬　（10% NaOH, 0.4% $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, 0.2%グリセリン）

硫酸マグネシウム-硫酸亜鉛混合溶液　（20% $MgSO_4 \cdot 7H_2O$-35% $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$(w/v)）

光電比色計　（島津製 AKA型）

II. 定 量 原 理

前報[1]で実証したように沸騰水浴中でビューレット反応を行わしめ得るから，固形の蛋白質試料をビューレット試薬中で注意深く加熱すると，呈色反応と蛋白質の溶解（10% NaOH による）とは全く同時に起ることから，固形試料を精度よく直接比色定量すること

※ 日本水産学会秋期大会（長崎．1955.）にて発表

が出来る。

III. 定量操作

約 140mg（生鮮肉なら 700mg）以下の蛋白試料を 50～100ml のマイヤーに秤取し，之にビューレット試薬 25ml を加え，沸騰水浴中で絶えずゆるやかに攪拌し乍ら 5 分加熱して溶解呈色せしめる。流水で冷却し 50ml のメスコルベンに移し蒸溜水を加えて定容とする。その 10ml に 20% $MgSO_4 \cdot 7H_2O$-35% $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 混合溶液 1ml を加えてよく振盪混和し，2 分放置後 No. 2 濾紙（9cm）で濾過し，濾液の吸光値を測定し蛋白量を求める。

IV. 定量法の吟味

1. ビューレット試薬の安定度

既に前報でも指摘したように SOLS の試薬を沸騰水浴中で加熱する場合，試薬の NaOH 濃度が高い程安定化されることを認めた。

固形試料の定量の場合には，直接原液を加えて操作出来るから NaOH の濃度も2倍になり，一層安定化されるものと考えられた。SOLS の原法によるビューレット試薬(8%NaOH)と，筆者が改変した試薬（10% NaOH）の沸騰水浴中での安定度は第 1 表に示す通りである。これで明らかな様に原法の試薬に比し，10% NaOH にした試薬は著しく安定性があり，定量目的に適するものと思われた。

第 1 表　沸騰水浴中での加熱処理に対するビューレット試薬の安定度に及ぼす NaOH 濃度の影響

薬試の NaOH 濃度 (%) ＼ 加熱時間 (分)	1	5	10	15	20
8	−	±	+	+	+
10	−	−	−	±	+

−：水酸化第二銅の沈澱全く生成せず，試薬安定
±：〃　沈澱生成し始む？　定量的使用の限界
＋：〃　沈澱生成す　試薬は定量目的には使用出来ない
操作はビューレット試薬をそのまま沸騰水浴中で加熱した。

2. 発色に対する煮沸時間の影響

市販粉末ゼラチン 100mg，キハダマグロ乾燥肉 200mg，キハダ鮮肉 500mg 及び 1000mg をそれぞれ 100ml のマイヤーに採り，之にビューレット試薬を 25ml 加えて沸騰水浴中で一定時間加熱呈色せしめ，後は前記の定量操作に従い処理して加熱時間と呈色との関係を求め第 2 表の如き結果を得た。

試料 1, 2, 3, は処理時間と共に呈色値が増大し，5 分で最高値を示し，それ以後は15分の加熱でも吸光値には変化が見られない。之は呈色反応が 5 分で完結し，而も生成したビューレット呈色物が強アルカリ性（10% NaOH 相当）でも全く安定なことを示すものである。試料 4 は蛋白質量に比し，ビューレット試薬の絶対量が不足した場合の一例を示したものである。表示の如く吸光値は反応処理時間と共に一旦は増大するが，やがて減少し，呈色物の色調も亦赤褐色化する。

以上 1, 2, 3 及び 4 の呈色値の変化から次の事が明かとなった。即ちビューレット呈色物は過剰の試薬（ここでは Cu が主体となる）の存在で保護され安定である。而し蛋白量が多

過ぎるとCuが全くビューレット呈色反応のために消費されるため，一旦生成されたビューレット呈色物はアルカリによる分解を受けて褪色して行く。

第2表 発色に及ぼす加熱時間の影響

加熱時間 (分)		1	2	3	4	5	10	15
吸光値	1 市販粉末ゼラチン 100mg	.302	.325	.345	.345	.344	.345	.345
	2 乾燥キハダマグロ肉 200mg	.200	.292	.562	.585	.595	.594	.595
	3 生鮮キハダマグロ肉 500mg	.350	.400	.450	.465	.470	.471	.470
	4 生鮮キハダマグロ肉 1000mg	.470	.560	.930	.990	1.00	.960	.785

実験結果

マグロ乾肉，マグロ生鮮肉，サバ鮮肉及び卵白アルブミンについてビューレット呈色法により蛋白質を定量すると共に，之等の試料を除蛋白剤で沈澱して精製後ミクロキールダール法で定量を行い，両者を比較した。第3表から明らかなようにビューレット定量法は従来のミクロキールダール法に対し，±2% 以内の誤差で可成り正確に，而も極めて迅速（20分以内）に定量することが出来る。

第3表 本法の精度（キールダール法との比較）

	蛋白質 mg (N×6.25)		誤差 $(B/M \times 10^2)$ (%)
	ミクロキールダール法 (M)	ビューレット比色法 (B)	
キハダマグロ鮮肉	141.0 35.5	142.2 35.0	+0.8 −1.5
キハダマグロ乾肉	103.1 56.2	103.5 56.8	+0.3 +1.0
サバ鮮肉	85.2 10.2	84.8 10.0	−0.5 −1.8
卵白アルブミン	138.3 23.1	138.1 22.8	−0.2 −1.3

要約

固形蛋白試料に直接ビューレット反応を適用して蛋白質を定量する方法について吟味し，精度よく極めて迅速に行える定量法を確立した。

文献

1)大城善太郎：本誌；**6**，119～124（1958）

冷蔵及び氷蔵の細菌学的研究(I)*

高田幸二・内山武保（長崎水産高校）

Bacteriological Reserch on the Cold Storage-1

Kozi TAKADA and Takeyasu UCHIYAMA

On the ice and the refrigerating plant belonging to the Faculty of Fisheries of Kagoshima University, some bacteriological researches were carried out; with the following results.

1. Amoung each room in the plant, conspicuous difference was noted on the number of bacteria in the air.
2. Larger amount of bacteria was observed on the suaface part of the ice than in the inner part.
3. The bacteriological contamination of ice by air agitation process in ice making plant was ascertained to be safety put out of consideration.
4. On the bacteria separated from the ice and the plant, *Pseudomonas* sp. was proved to be most remarkable in yielding NH_3 formation from the fish meat extract, while, the sterilizing effct of the germicidal lamp was conspicuous for the separated bacteria, especially for *Flavobactrium* sp.

緒　　言

現在漁獲物をはじめ各種の食品を保蔵するのに冷蔵法や氷蔵法が利用されているが，氷中や冷蔵室内外における細菌汚染の実態を検討することによってその細菌の来源を追求し，各工程における細菌の混入防止法を考究することは，冷蔵及び製氷工業上は勿論，保健衛生の見地からも必要にして且つ意義あることと考えられる。

従来細菌の発育と低温度との関係については，多くの研究[1,2,3]が行われているが氷または冷蔵室の細菌汚染の実態に関する研究は少ないようで，HOROWITZ-WLASSOWA, GRINBERG[4], SEDGWICK[5] 及び CLARK[6] 等の報告を知る程度である。そこで著者等は先ず基礎実験として本学部の製氷及び冷蔵工場を対象とし細菌の分布状態，分離菌の性状を観察するとともに，これらの細菌に対する市販殺菌燈の効果についても検討したところ，若干の知見を得たので報告する。

実　験　の　部

細菌の分離

分離場所：鹿児島大学水産学部製氷冷蔵工場

分離期間：1957年5月より7月に亘る間

分離方法：空気中からの分離は各場所毎に肉汁寒天シャーレ（径9cm）を30分間開放した後常法[7]により30°Cで48時間培養して純粋分離した。又氷中，水中よりの分離は各試料を液体として1c.c.とり，これを前記同様の方法で分離した。

結果及び考察

I. 細菌の分布

A. 冷蔵工場内の空中細菌数

冷蔵工場内の各室における空中細菌数を常法[7]により算出した平均値を示すと第1表の

---

* 本報告の一部は昭和32年10月，日本水産学会秋期大会（函館）にて発表した。

如くである。

第1表　各室空気中の細菌数

場所＼培養時間	48時間	96時間
原料処理室	315	385
予備室	138	174
冷蔵室	123	165
凍結室	13	17
貯氷室	16	31

寒天平板：直径 9cm
空気中曝露時間：30分間
培養温度：30°C

表の結果によると，本工場で空中細菌数の最も多いのは原料処理室である。同室は原料によって壁，床其の他器物が汚染され，しかも空気の流通が激しく，細菌の飛散する機会が多いと考えられる。次に細菌数は予備室，冷蔵室，貯氷室，凍結室の順で少なくなっている。

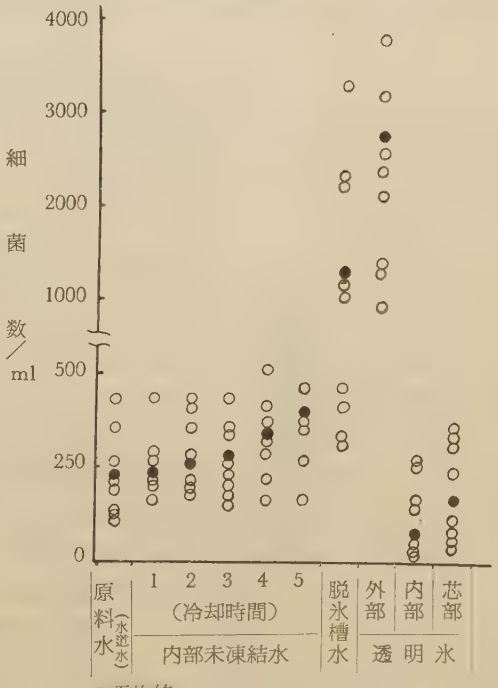
冷蔵室が比較的多いのは保管物の種類及び量が多く，これらが細菌汚染の源となっているためと考えられ，更に予備室が多いのは作業員の出入が激しく，外部（原料処理室）からの細菌混入の機会が多い上に保管物も多かったためと思われる。

B.　製氷用水及び氷の細菌数

次に製氷過程中における各段階での細菌数を検査した。即ち製氷原料水である水道水，それから原料水を製氷罐に入れ「ブライン」に浸して「エアブロー」しながら冷却するが，その際の各所定冷却時間における内部未凍結水中の細菌数，更に脱氷槽水及び出来上がった氷の外部，内部，芯部の三部位における細菌数を算出した。その結果は第1図に示す如くである。

この結果によれば原料水を冷却する時間が経過するにつれて内部未凍結水中の細菌数は幾分増加する傾向がみられる。

SEDGWICK 等[5] によれば，水中に存在する細菌は水が凍結する際に氷晶中には入らず，不純物と共に液体の部分に残るとのことである。又 CLARK[6] は自然氷が凍結する際には，そこに存在する細菌の95～99%は氷の結晶外に出て底部の水中に残留していると報告している。ところで本実験の結果によれば製氷原料水中には通常250個前後の細菌が含まれているが，この菌が製氷過程でそのまま生存するとすれば凍結進行に伴う内部未凍結水量の減少する割にはその単位量当りの細菌数は増加していないのであって寧ろ減少していると考えられるのである。これは凍結過程が自然氷の場合と異なり凍結



●平均値
製氷条件
製氷罐型：50ポンド罐
ブライン温度：−13°C
氷結完了時間：約11時間
（7時間後芯抜き操作）
通気量：32 ft³/min.

第1図　製氷用水及び氷の細菌数

進行に伴う細菌の棲息環境の急変例えば温度の急激なる低下や「エアブロー」による攪拌等によって細菌が死滅するのではないかと考えられる。又本実験の結果によれば「エアブロー」の操作に伴う空気中の細菌の混入汚染は特に考慮する必要のないことが諒解される。次に本工場の解氷槽水（井戸水）は原料水より細菌数が著しく多かった。

氷の細菌数はその部位により異なることは第1図の結果よりも明らかである。即ち外部は常に多く，芯部がこれに次ぎ内部が最も少い。外部が多いのは罐内部と脱氷槽水中の細菌が附着するためと，空気中とか器物の細菌や其の他取扱の際に汚染されるものと考えられる。なお砕氷はそうでないものに比べて常に多くの細菌が検出されたが，これは表面積が大きくなったために外部よりの汚染の機会が多くなるためであろう。

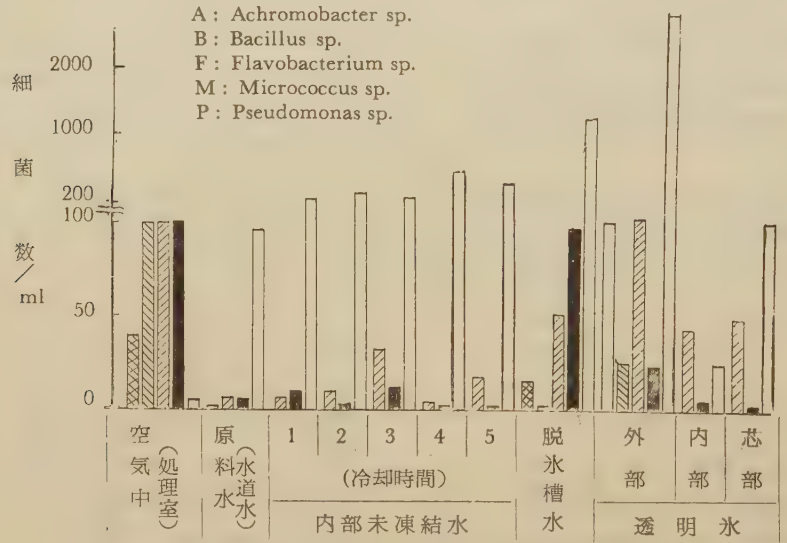
II. 分離細菌の種属

A. 冷蔵工場内の空気中より分離した細菌

原料処理室，予備室及び冷蔵室等より分離した17種の細菌について培養基上における菌学的諸性質より種属の分類を試みた。その結果の詳細は省略するが各室共に *Bacillus* sp. *Micrococcus* sp. *Achromobacter* sp. *Flavobacterium* sp. 及び *Pseudomonas* sp. が検出された。

B. 製氷用水及び氷から分離した細菌

製氷用水からは12種の細菌を分離したが，氷の細菌の来源を検討する意味において前述の各試料から分離した細菌を種属別に示すと第2図の如くである。

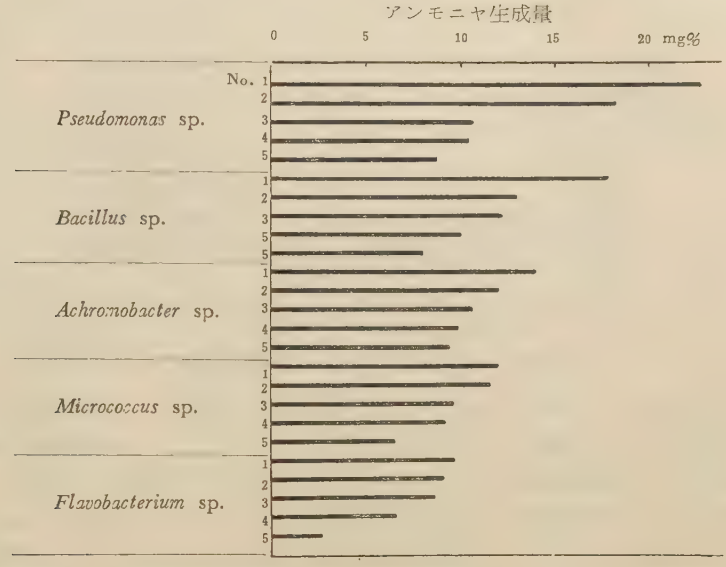


第2図 製氷用水及び氷の菌種別細菌数

図の結果よりも明らかな如く，全試料において *Achromobacter* sp. の菌数が他のものより多い。内部未凍結水や氷の内部，芯部の細菌は原料水に含まれていた菌の一部が残存していると考えられ，原料水に由来する菌種が多い。氷の外部の細菌には原料水や脱氷槽水中にみられる菌以外に空気中に多い芽胞桿菌（*Bacillus* sp.）などが比較的多数であった。製氷過程の「エアブロー」により空気中の細菌が当然氷に混入するものと予想したが，内部未凍結水や氷内部から分離した菌には芽胞菌は殆んど検出されなかった。

III. 分離細菌の NH_3 生成能

分離した細菌が冷蔵又は氷蔵した魚肉の鮮度低下に及ぼす影響を知るためにはその菌数と共に菌種による腐敗能力の差の有無についても検討する必要がある。そこで一つの予備実験として分離細菌を種属別に各々魚肉汁培養液に 30°C で 4 日間培養した後に生成した NH_3 量を CONWAY の微量拡散法[8] で測定してみた。その結果は第 3 図の如くである。



検査条件
培　地：魚肉抽出物
培　養：30°C，4 日間
生成アンモニヤ定量法：微量拡散法

第 3 図　分離菌のアンモニヤ生成量

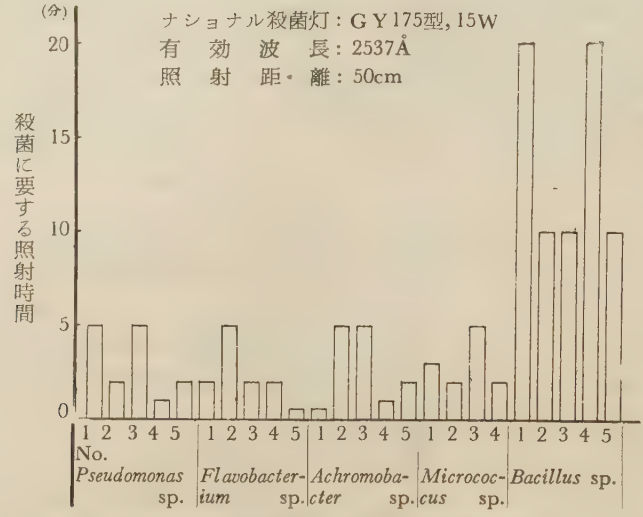
即ち水棲細菌で魚体表面などにも多く存在し，魚肉腐敗の主原因をなすと云われてる *Pseudomonas* sp. は本実験においても NH_3 生成量が多い結果となっている。次いで一般に芽胞桿菌の *Bacillus* sp. *Achromobacter* sp. *Micrococcus* sp. *Flavobacterium* sp. の順であるが，同一種属においても菌種により NH_3 生成能にかなりの変動があり一定しないようである。以上の結果と第 2 図に示した結果とを合せ考えると，空気中と氷の表面に附着する細菌が一般に NH_3 生成能が大きいことが諒解される。従って製氷後の製品管理にあたっては外部からの細菌汚染の防止について特に留意する必要があると思われる。

VI. 市販殺菌灯に対する分離細菌の抵抗力

最近食品工場等においてさかんに殺菌灯が使用されているが，殺菌灯の特長は熱や薬品を用いる方法と異なり，処理後に大きな変化を残さず他の殺菌法にくらべれば操作が簡単で，しかも経済的なことである。殺菌灯の使用効果と実用性については，比較的多くの報告[9][10][11][12] があるが著者等は前記の分離菌に対する照射実験を試みた。

即ち普通肉汁寒天に各菌株を接種し，直ちに波長 2537Å の市販殺菌灯（ナショナル製，GY-175 型，15W）を用い光源より 50cm の距離で各所定時間（1, 2, 5, 10, 20, 30 分間）照射した後，30°C で 6 日間培養し，その間における発育の有無より殺菌所要時間を求めた。

その結果は第4図の如くである。



第4図 市販殺菌灯に対する分離菌の抵抗力

図によれば芽胞性の *Bacillus* sp. 以外は5分間の照射で死滅し，又芽胞菌も10～20分間の照射で死滅するが同一種属でも菌株により抵抗力に差のあることが諒解される。又極く短時間の照射では或る菌種に対して発育抑制の作用を示すことが認められた。

以上の実験により市販殺菌灯にもかなりの殺菌効果のあることが知られたが，紫外線は水及び空気以外の物質に対しては有効波長輻射線の透過性が悪く主として表面の殺菌に止るという欠点がある。しかしながら製氷冷蔵工場は多く食品を取扱うので環境が無菌的であることが望ましく，この意味においても各室に殺菌灯を設備することはかなり効果的な手段と考えられる。この場合の照射効果に対する温度とか湿度等の影響については目下検討中である。

要　　約

鹿児島大学水産学部の冷蔵工場において，各室と氷について細菌の分布及び分離細菌の菌学的性質について検討し次の結果を得た。

1. 空気中の細菌数は凍結室，貯氷室，冷蔵室，予備室，原料処理室の順で多かった。
2. 氷の細菌数は外部が常に多く，芯部がこれに次ぎ，内部（芯部以外の内部）が最も少なかった。
3. 「エアブロー」の操作に伴う空気中細菌による氷の汚染は特に考慮する必要のないことを明らかにした。
4. 冷蔵工場内の空気中よりは17種，製氷用水からは12種の細菌を分離し，これらの菌学的性質を検討したところ，氷の内部には空気中の菌種と共通するものは殆んど検出されなかった。
5. 分離細菌の NH_3 形成能は *Pseudomonas* sp. が最も強く，この菌は空気中と氷の表面に多く検出された。
6. 分離細菌の市販殺菌灯（ナショナル製，GY-175,15Watts）に対する抵抗力は *Bacillus* sp. が他の菌種より強かったが，何れの菌種に対してもかなりの照射効果が認められた。

附言　本研究の実施に当って，鹿児島大学水産学部斎藤要助教授，日高富男教官並びに製氷工場の各位には好意ある御援助を頂いた事を附記し厚く感謝の意を表する。なお著者の一人内山は長崎水産高等学校より内地留学生として派遣され本研究を行ったものである。

文　献

1) R. H. Bedford : Contr. Can. Biol. Fish., **7**, 431 (1933).
2) E. Hess : ibide, **8**, 461 (1934).
3) 木俣正夫："水産物の腐敗及び腐敗細菌"，厚生閣，東京 (1944) p. 52.
4) L. M. HorowitzWlassowa, L. D. Grinberg : Zentbl. Bakt., **89**, 54 (1933).
5) W. T. Sedgwick, C. E. F. Winslow : Mem. Amer. Acad. Arts. Sci., **12**, 467 (1902).
6) H. W. Clark : Pub. Health Rep., **27**, 204 (1901)
7) 伝染病研究所編："細菌学実習提要"，丸善，東京 (1944).
8) 石坂音治："微量拡散分析提要"，柴田，東京 (1951) p. 3.
9) 鳳誠三郎："電気殺菌とその応用"，南江堂，東京 (1951) p. 3.
10) F. L. Gates : J. Gen. Physiol. **13**, 249 (1929).
11) H. R. Rentschler : J. Bact., **41**, 745 (1941).
12) 寺本四郎等：醗酵工学雑誌，**31**, 23 (1953).

魚肉中のアミンの生成について-V※

—魚肉中のヒスタミンの生成に対する温度の影響(2)—

太田冬雄・金子弘助

On the Formation of Amine in Fish Muscle–V

—Influence of Temperature on the Formation of Histamine in Fish Muscle (2)—

Fuyuo OTA and Kosuke KANEKO

The relation between the formation of histamine and that of ammonia in round red-flesh fish spoiled at various temperatures was examined.

The rate of histamine and ammonia fomation in the process of spoilage of fish varied according to the difference of the storage temperature, and, if kept within the range of 7 to 32°C., the higher the temperature generally the swifter it was.

But, at 7 to 9°C., little histamine produced, while ammonia considerably increased, and so histamine formation at such low temperature as this or below it, may be put out of consideration.

On the other hand, histamine value corresponding to ammonia value at incipient spoilage, before and after it, of fish at such high temperature, changed remarkably with a slight variation of the latter, (Figs. 1,2 and 6) and, consequently, it was presumed that from the sanitary point of view it would be irrelevant to measure the quality of fish stored at temperature above 15°C. by only estimating the ammonia content.

For keeping the quality of fish, especially for reducing the histamne formation in it during storage, eviscerating was found to be effective.

先に筆者らは，魚肉（赤色系）の鮮度低下によって生ずるヒスタミン(Hm)量とアンモニア（Am）量との関係は，環境温度によって相異し，室温程度に放置された時の Hm の生成は，Am のそれよりも急激且つ多量な場合が多く，従ってこの様な場合の Am による鮮度判定は多分に危険性のある事を報告した[1]。

しかし，之らの結果はすべて魚肉の細砕物を試料として行ったものであるから，必ずしも実際に近い試験条件とはいい難い。そこで今回は，魚体そのままを放置貯蔵した場合にも同じ様な関係が見られるかどうか，併せて内臓の有無の影響についてしらべた。

実　　験

方　法

市内中央市場より求めた新鮮な魚類を用い，ほぼ同重量のもの各数尾ずつを1区分として種々の温度に放置鮮度を低下させ，随時各区分の1尾より背肉の片方ずつを採取し，その中の Am を比色法[2]，Hm を前報記載の迅速法[3]にてそれぞれ定量した。なお，試料魚を開腹内臓及び鰓を除き，水洗したものを内臓除去区分とし，その対照魚は体表面を水洗した。

結　果

1. 温度の影響

サバ（10月漁獲，約 400g）を試料とし，31-32°C, 23-25°C, 及び 10-14°C に放置した

※ 本報の要旨は，日本水産学会（東京，1955, 4）にて発表

場合の結果を Fig. 1 に示した。即ち温度の低い場合 (10-14°C) には，Hm, Am 共に生成が非常に緩慢で，Am 量が腐敗期のものでも Hm 量はそれ程多くはない。しかるに中温 (23-25°C) 以上の場合には共にその生成が急激で，特に Hm のそれが大きく，初期腐敗前後の Am 量の変化に対する Hm のそれは著しく大きい。例えば，Am量20mg% のときの Hm 量は約 30mg% であるが，25mg% では約 80mg% に達した。

之らの関係は，サバ (11月漁獲，約 400g) を用い，30°C, 20°C 及び 7-9°C に放置した場合の結果 (Fig. 2) からも明らかで，30°C の場合，Am 量 20mg% では Hm 量約 50mg%，25mg% では約 100mg% にも達した (清水ら[4] によると，Hm の中毒量は 約100mg% といわれる)。

従って，前報[1] で指摘した Am 量による鮮度判定の危険性は，魚体のままで放置，貯蔵した場合にもいえる。

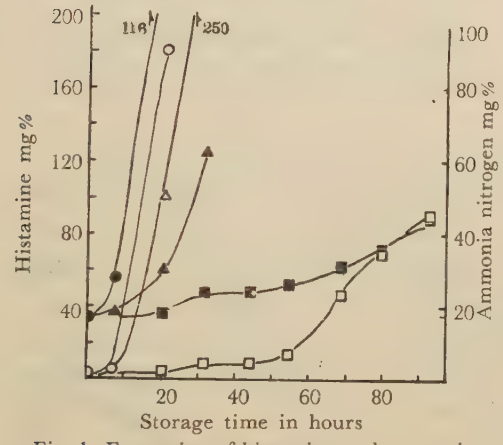


Fig. 1. Formation of histamine and ammonia in muscle of round mackerel stored at different temperatures.
○ histamine, ● ammonia, at 31-32°C
△ 〃 , ▲ 〃 , 〃 23-25°C
□ 〃 , ■ 〃 , 〃 10-14°C

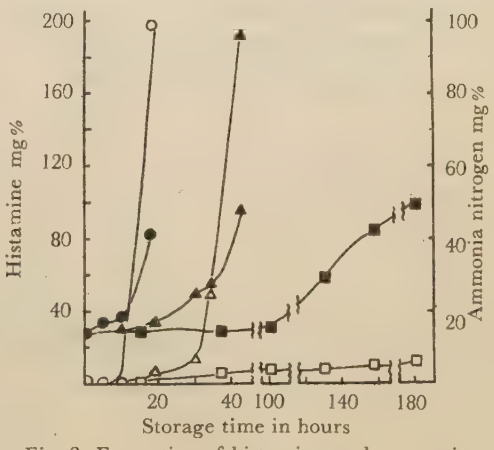


Fig. 2. Formation of histamine and ammonia in muscle of mackerel stored in round state at different temperatures.
○ histamine, ● ammonia, at 30°C
△ 〃 , ▲ 〃 , 〃 20°C
□ 〃 , ■ 〃 , 〃 7-9°C

尤も，アジ (11月漁獲，約 200g) の場合 (Fig. 3) は，温度の高い場合にも，Am が初期腐敗量を過ぎても Hm 生成量は，サバの場合よりも遥かに少ないから上述の様な危険性は殆どないであろう。

2. 内臓の影響

サバ(11月漁獲, 約 400g) の魚体そのままと，内臓を除去したものとを，室温 (23-25°C) に放置した場合の結果を Fig. 4 に示した。即ち Am, Hm 共に内臓を除去したものの方が生成量が少なく，特に Hm のそれが著しく少ない。

この関係は，ウルメイワシ (11月漁獲, 約 45g)，サバ (11月漁獲，約 250g) を室温に放置して比較した場合の結果 (Fig.5, 6) からも明らかに観察される。即ち内臓除去の前処理は，鮮度保持特に Hm による危険性を軽減する一つの有効な手段といい得るであろう。

尚前項で問題にした初期腐敗前後の Am 量の変化に対する Hm のそれとの関係は，上述の Fig. 6 にも観取される。

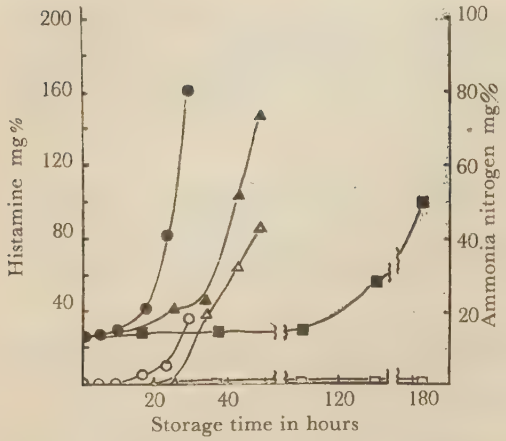


Fig. 3. Formation of histamine and ammonia in muscle of horse-mackerel stored in round state at different temperatures.
○ histamine, ● ammonia, at 30°C
△ 〃 , ▲ 〃 , 〃 20°C
□ 〃 , ■ 〃 , 〃 7-9°C

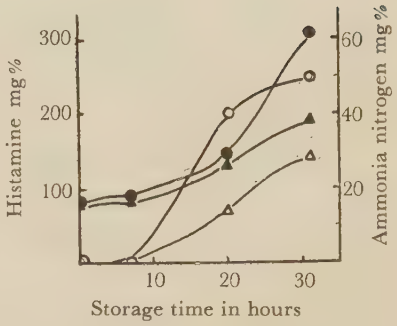


Fig. 4. Effect of eviscerating on the formation of histamine and ammonia in round mackerel stored at 23 to 25°C.
○ histamine, ● ammonia, round
△ 〃 , ▲ 〃 , eviscerated

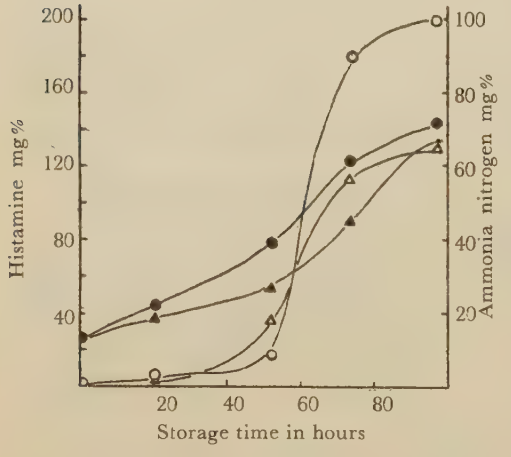


Fig. 5. Effect of eviscerating on the formation of histamine and ammonia in round herring stored at 14 to 19°C.
○ histamine, ● ammonia, round
△ 〃 , ▲ 〃 , eviscerated

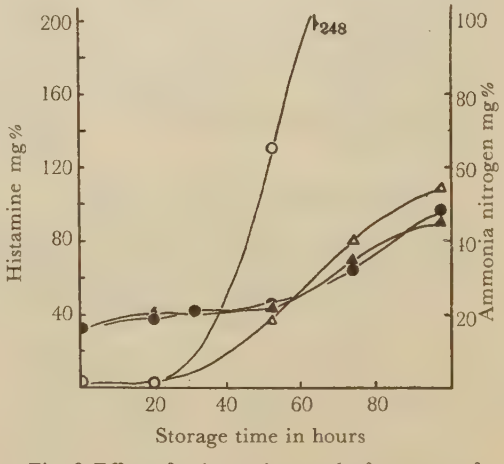


Fig. 6 Effect of eviscerating on the formaton of histamine and ammonia in round mackerel stored at 14 to 19°C.
○ histamine, ● ammonia, round
△ 〃 , ▲ 〃 , eviscerated

考 察

前報で指摘した様に，サバ，カツオ等の鮮度を，Am によって判定すすることの危険性は，単に細砕肉のみならず，魚体のままで貯蔵した場合にも起り得ることが，今回の実験結果から明らかに結論されよう。このことは，木俣ら[5]が報告している様に，魚肉中の Hm 及び Amの生 成が夫々異なった細菌によっている事からすると当然あり得るわけである。

問題はその危険性の温度範囲であるが，先に木俣ら[6]が指摘した 20°C 前後の範囲では，充分とは云い難い様である。というのは，前報でも示した様に，この危険性は 20°C 前後

と限らず，15-32°C の範囲にあり，又今回の結果を見ても，Fig. 1 の 23-25°C, Fig. 6 の場合は勿論，更に Fig. 2 の 30°Cの場合にも同様の危険性が観察されるからである。従って，15-32°C 程度は注意を要する温度範囲と考えてよいであろう。事実，木俣ら[7]はその後の研究で，Hm 生成菌の生育及び Hm 生成の最適温度は，菌の種類で異なる事を報じている。

従って又，上述の危険性を避けるためには，当然従来の鮮度判定指標の判定限界量に再検討を加える必要もあろうし，又充分な許容をもつことも必要になろう。しかも，最近の食中毒事例[8]の原因調査によると，中毒原因食品中の揮発性塩基はそれ程多くないのに著しく多量の Hm が検出されている。従って，Hm そのものを直接迅速に定量する必要も生じて来よう。先に筆者の一人[3]が，Hm の迅速定量法を求めたのは，かかる場合を考慮したからである。尤も，河端ら[9]は前述の中毒因には，Hm 以外に新しい有毒物質の関与していることを強調しているが，その物質が殆ど常に Hm の多量と共存している点から考え，Hm のみの定量によつても，その危険性の殆どは避けられるのではないかと思われる。

勿論，Am 以外の鮮度判定指標と Hm 量との関係についても吟味されるべきであろう。

尚，前回及び今回の結果に共通して見られる事は，10°C 以下の放置貯蔵では，Am が増加し相当の腐敗に至っても Hm は殆ど増加せず，ついに清水ら[4]のいう中毒量には達しない事である。従って一般的鮮度保持という点からは勿論であるが，特に Hm の危険性を軽減するという点からこの程度の低温貯蔵は甚だ有効な手段となろう。

又，魚体から内臓を除去することが，同様上述の危険性を軽減するのに有効な事は，今回の結果から明らかである。従来，内臓の除去が鮮度保持に有効な事は広く認められている事であるが，その効果が Am に対してよりも，Hm に対しより大きいのは注目されてよいと思う。

要　　約

1. 魚体（赤色肉系魚類）のままで鮮度を低下させた場合の Am 及び Hm の生成は，細砕肉の場合（前報）と殆ど同様で，放置温度によって異なり，7-32°C の範囲では，高温の時程速やかである。

2. 温度の低い場合 (7-9°C) には，Am が生成増加しても，Hm は殆ど生成されず，従ってこの様な場合 Hm は問題の対象にならないであろう。

3. しかし，温度の高い場合 (14-32°C) には，初期腐敗前後の Am の変化に対し，Hm のそれが著しく大きく，従ってこの様な温度条件での Am による鮮度判定には多分に危険性があると思われる。

4. 尚，魚体から内臓を除去したものは，Am, Hm 共に生成が少なく，特に Hm に於て少なく，従ってこの処理は，鮮度保持，特に Hm の危険性を軽減する上に有効と思われる。

文　　献

1) 太田冬雄・鯵坂比呂志：鹿大水産紀要., **5**, 134–139 (1956)
2) 太田冬雄：日水誌., **17**, 309–321 (1951)
3) ————：日水誌投稿中

4) 清水亘・日引重幸：日水誌., **20**, 206–208, 298–304 (1954)；**21**, 365–367 (1955)
5) 木俣正夫・河合章：京大食研報告., No. 12, 29–33 (1953)
M. KI MATA and M. TANAKA : Mem. Res. Inst. Food. Sci. Kyoto Univ., No. 7, 12–17 (1954)
6) 木俣正夫・河合章：京大食研報告., No. 6, 83–98 (1952)
7) M. KIMATA and M. AKAMATSU : Mem. Res. Inst. Food. Sci. Kyoto Univ., No. 9, 4–18 (1955)
8) 河端俊治・石坂公成・三浦利之：日水誌., **21**, 335–340 (1955)；1167–1171 (1956)；**22**, 41–47 (1956)
9) ――――――――――：――――, **21**, 341–346 (1955)

魚肉中のアミンの生成について-VI※

—魚肉中のヒスタミンの生成に対する調味料の影響—

太田冬雄・波江野利勝

On the Formation of Amine in Fish Muscle-VI

—Influence of Seasonings on the Formation of Histamine in Fish Muscle—

Fuyuo OTA and Toshikatsu HAENO

Test was carried out to ascertain the influence of several seasonings mixed in fish muscle on the formation of histamine and ammonia in it during storage.

For the formation of ammonia, sodium chloride was inhibitory, soy a little acceleratory and others (sweet wine, vinegar, spirits and sugars) not influential. On the other hand, for the formation of histamine, sodium chloride was inhibitory, cane sugar and glucose not influential or inhibitory while pH value of muscle added with sugar changed to acid side, and others were not influential.

Therefore, it was considered that the influence of seasonings on the production of histamine in the processed fish products was almost not appreciable, and was far from being accelerating, while in accordance with adding conditions they showed somewhat inhibitory tendencies.

魚肉中のヒスタミン(Hm)の問題は，いうまでもなく中毒因の対象として考えられるからであるが，最近の中毒例[1)2)]から見ると，単に生魚だけの問題ではなく，むしろ加工品の場合が多い。従って，味淋干等の例から考え，魚体に附加された調味料が，或は Hm の生成に対し何らかの影響を与えているのではないかという事を思わせる。というのは，従来細菌によるアミン生成の作用 pH 域は相当酸性側にあるといわれており[3)]，しかも調味料として加えられた炭水化物系物質が細菌によって酸を生成することは普通に知られている事だからである。

そこで今回は通常用いられる各種調味料が，魚肉中の Hm 及びアンモニア (Am) の生成に対しどんな影響を及ぼすかをしらべた。

実　　験

方　法

市内中央市場より求めた新鮮な魚類（主としてサバ）の普通肉を採り細砕，その一定量に各種調味料を所要濃度に混和し，一定の温度（特に示した場合の外は 20°C）に放置して，その間の肉質中の Hm 量及び Am 量の変化を夫々前報[4)]と同様の方法で定量した。一部の実験では Hm 量をペーパークロマトグラフィー（前報[5)]記載）によって検出し，又後半の実験には pH の測定（東洋濾紙試験紙法）を行った。

結　果

1. サバ肉に市販醤油を 1,3 及び 5 %の割合に混和した場合の結果を Fig.1 に示した。即ち，Am 量の変化は初期腐敗以後に僅か乍ら醤油添加のものに多い傾向が見られ，一方 Hm は醤油の添加量で多少異なった変化が見られたが，特に醤油添加による影響はつかみ

※ 本報の要旨は，日本水産学会（東京, 1955, 4）にて発表

難かった。

2. サバ肉に味淋を1,3及び5%量混和した場合の結果をFig. 2に示した。この場合も前の醤油の場合に類似し，Hmは添加量によって多少異なった変化が見られたが，特に影響としての特徴はつかみ難かった。又Amに対する影響も醤油の場合と殆んど同様であった。

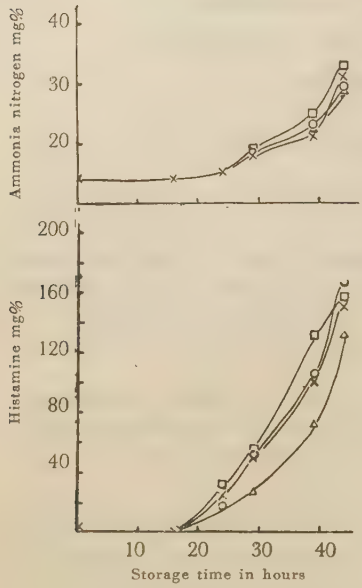


Fig. 1. Influence of soy on the formation of histamine and ammonia in muscle of mackerel stored at 20°C.
×, ○, △ and □ indicate 0, 1, 3 and 5% of soy, respectively.

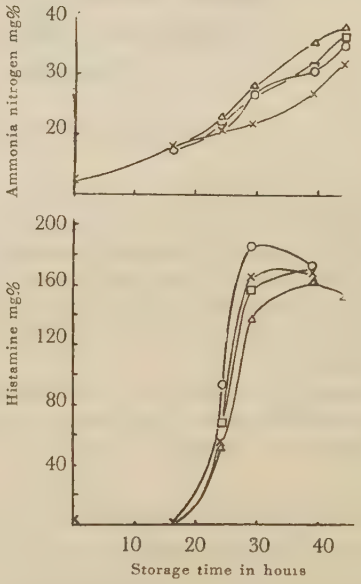


Fig. 2. Influence of sweet wine "mirin" on the formation of histamine and ammonia in muscle of mackerel stored at 20°C.
×, ○, △ and □ indicate 0, 1, 3 and 5% of sweet wine, respectively.

3. サバ肉に1,3及び5%量の砂糖を添加した場合の結果をFig. 3に示した。Amの変化はいずれも殆ど差はないが，Hmは砂糖の添加量により3,5%の順に影響が現われ，それ程著しくはないが促進している様に見られた。しかるに5,10%添加した場合の結果(Fig. 4)では，5%の場合も僅か乍ら抑制的で，更に10,15%の順に抑制度が大きくなった。(図に示さなかったが，別に繰返して行った結果にも，砂糖の促進的影響は殆ど見られなかった。)しかも，この場合のpHは明らかに放置時間と共に酸性側に移っている事から考え，魚肉におけるHm生成の作用pH域は，従来の例とはかなり異なる事が予想される。一方，砂糖が5%以上混和されたものではAmの生成も又抑制された。

4. サバ肉に各5%量の葡萄糖，酢及び焼酎を加えた場合の結果をFig. 5に示した。これらの場合も，前項の砂糖の場合と同様，葡萄糖，酢では当然考えられる様にpHは酸性側に変化したが，Hm, Am共に対照よりも少なく抑制的であった。

5. 前実験までの試料魚肉にはすべてサバを用いたので，ここではマイワシを用い，同様の試験を行った。即ち，醤油，砂糖及び味淋の各5%量を加えた時の結果をFig. 6に示した。之をみても，之ら調味料は殆ど影響がなく，Hm, Am共にむしろ僅か乍ら抑制された。

6. 広く食品の貯蔵に用いられる食塩が，Hmの生成に対しどの程度抑制的であるかを

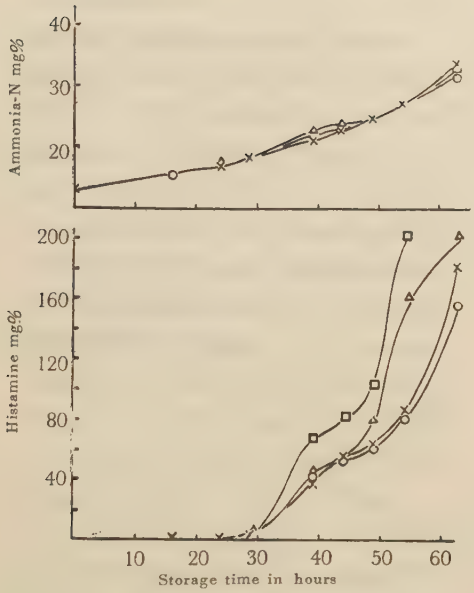


Fig. 3. Influence of cane sugar on the formation of histamine and ammonia in muscle of mackerel stored at 20°C. (1) ×, ○, △ and □ indicate 0, 1, 3 and 5% of cane sugar, respectively.

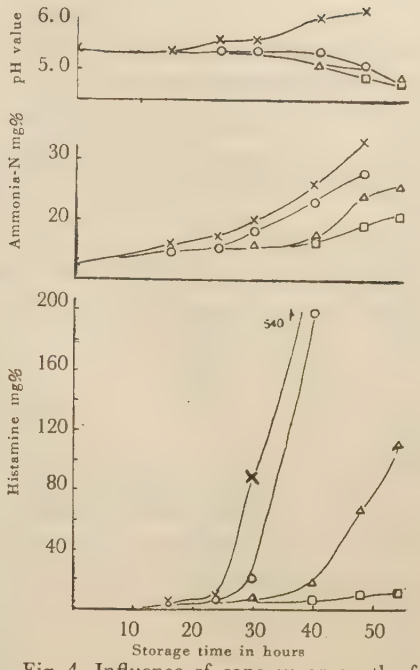
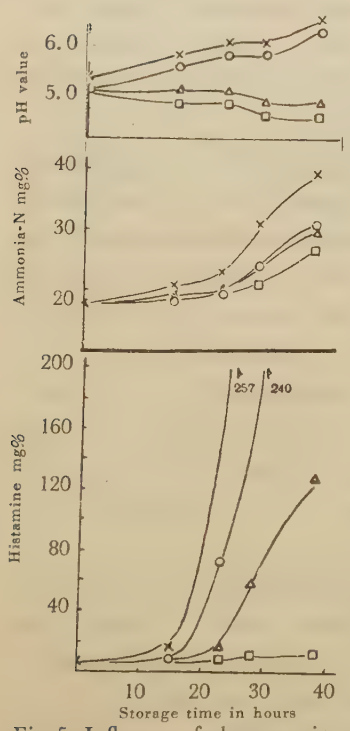


Fig. 4. Influence of cane sugar on the formation of histamine and ammonia in muscle of mackerel stored at 20°C.(2) ×, ○, △ and □ indicate 0, 5, 10 and 15% of cane sugar, respectively.



×, ○, △ and □ indicate no seasonings, 5% spirits, 5% glucose and 5% vinegar, respectively.

Fie. 5. Influence of clucose, vinegar and spirits on the formation of histamine and ammonia in muscle of mackerel at 20°C.

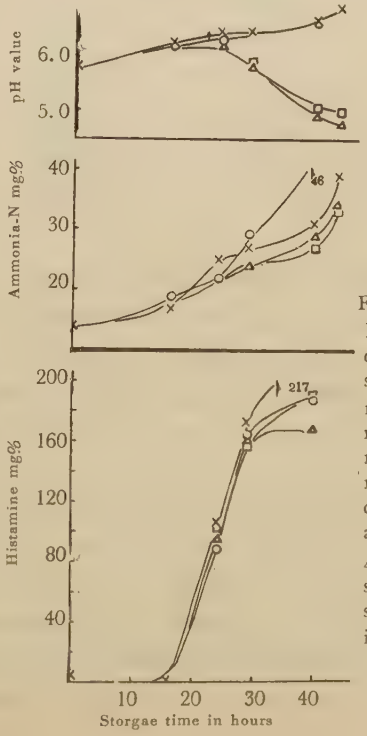


Fig. 6. Influence of soy, cane sugar and sweet wine "mirin" on the formation of histamine and ammonia in muscle of sardine stored at 20°C. △ 5% sugar, □ 5% sweet wine, ○ 5% soy, × no seasonings.

Table. 1. Formation of histamine and ammonia in salt-free and salt fish muscle stored at 10 to 15°C.

Storage time (h.)	Salt-free		Salt	
	Histamine	NH_3-N (mg%)	Histamine	NH_3-N (mg%)
		Mackerel		(salt, 10%)
0	−	14.9	−	14.9
23	−	〃	−	〃
46	−	17.4	−	15.8
53	±	21.6	−	〃
74	++	26.5	−	〃
77	+++	34.9		
94			−	20.8
119			−	23.2
142			−	26.1
		Round herring		(salt, 10%)
0	−	14.9	−	14.9
22	−	15.8	−	〃
42	+	25.7	±	17.0
49	++	37.4		
66	+++	58.1		
70			+	19.9
91			±	23.2
114			−	25.7
		Blue fin tuna		(salt, 5%)
0	−	18.3	−	18.3
17	−	〃	−	〃
41	±	〃	−	〃
48	+	19.1	−	〃
64	+	〃		
89	++	23.2	−	19.9
113	++	49.8	−	〃
131			−	22.5
161			−	27.4

見るため，サバ及びイワシ肉に各10%，マグロ肉に5%量の食塩を混和，室温（10–15°C）に放置し，Hmの生成状況をペーパークロマトグラフィーにて検出，Am 量との関係を見た。その結果が Table. 1 である。之によると，Am の生成が食塩によって阻害される事は当然であるが，Hm の生成も又著しく阻害され，Am がある程度増加しても，Hm はマイワシの場合多少検出されたが，他では殆ど全く検出されなかった。即ち食塩は Hmの生成に対し，より阻害的であると思われる。

考　　察

一般にアミノ酸を脱炭酸してアミンを生成する微生物の酵素は，微生物が酸性の生育環境に適応した時に形成されるものであり，またその酵素の作用 pH 域も相当の酸性域にある事が知られている[3]。また清水ら[6] によると腐敗魚肉から抽出した粗酵素液の Hm 生成の最適 pH は 4.5 とされている。一方，炭水化物が腐敗すると酸を生成する事は普通に知られている事であるから，魚肉中に砂糖等の調味料が混和されている時には当然Hm の生成が多いものと考えられるが，実験の結果では，砂糖，葡萄糖，味淋等を加えられたものも，pH が明らかに酸性側に変化しているに拘らず，特にそのための Hm の生成増加は見られず，むしろ抑制的傾向がつよい。特に酢の場合，それ程つよい酸性でないに拘らず，殆ど全く生成が見られず，酸性によるつよい抑制作用が観察される。尤もこの場合は，酢を混和した当初の殺菌的効果もあるのかもしれないが，それにしても Am の生成に対する以上に Hm のそれに抑制的であるのが注目される。

ともかく，上述の事から従来一般に知られているアミンの生成条件は，必ずしも魚肉中の Hm 生成にはそのまま適用できないものと考えられる。事実，河端ら[7] は Hm 生成能をもつ菌中には，pH 7 又は僅かにそれ以上に於ても，多量の Hm を生成し得る種類のある事を報告しており，又木俣ら[8] によると魚肉中の Hm 生成に関与する細菌の，生育に適当な pH は中性附近にあり，酸性域では著しく阻害され，又之ら細菌の Hm 生成の作用 pH 域は 5—6 にあり，5 以下では著しく抑制され，種類によっては殆ど生成しないこ

とが報ぜられている。

要するに，魚肉に混和された調味料の様な炭水化物は，肉中の Hm の生成に殆ど影響なく，むしろ肉質の pH を酸性に変化させ却って抑制作用を示すことが明らかである。

従って，実際の中毒例[1)2)]でその原因食品中に多量の Hm が検出されているが，それは調味料の存在が影響しているのではなく，やはり原料そのものの不鮮，或いは製造過程中における肉質の鮮度低下が原因していると考えるべきであろう。

尚，食塩が，魚肉中の Am の生成に阻害的であるのは当然であるが，Hm の生成に対しより阻害的であるのは注目される。しかし，Hm 生成菌の生育及び Hm 生成の度合が，ある程度の食塩の存在において高い点[8)]から考え，食塩の濃度との関係について今後定量的に観察したい。

要　　約

魚肉の鮮度が低下した場合の Am 及び Hm の生成に対し，肉中に混和された各種調味料が如何なる影響を及ぼすかを試験した。即ち，1. Am の生成に対しては，食塩が阻害的，醤油が多少促進的である外は殆ど影響がない。2. Hm の生成に対しては，食塩が阻害的，砂糖，葡萄糖等では，（肉質の pH は酸性側に変化したが）殆ど影響がないか，或は抑制的である。味淋，醤油等では殆ど影響がない。

終りに，本実験に協力された西元諄一君に感謝する。

文　　献

1) 柳沢文徳：食品衛生，41 (1957) 共立
2) 河端俊治・石坂公成・三浦利之：日水誌., **21**, 335–340, 1167–1170 (1956).
3) E. F. Gale：Bact. Rev., **4**, 135–176 (1940).
4) 太田冬雄・鰺坂比呂志：鹿大水産紀要., **5**, 134–139 (1956).
5) 太田冬雄・福山実：鹿大水産紀要.,**5**, 129–133 (1956).
6) 清水亘・池田静徳・黒川慶昭：京大食研報告., No. 12, 49–56 (1953)
7) 河端俊治・興津知明・上森正雄：日水学会（東京, 1955, 4)
8) M. Kimata and M. Tanaka：Mem. Res. Inst. Food. Sci. Kyoto Univ., No. 9, 4–18 (1955)

カビ付によって起るカツオ節の化学成分の変化について※

金沢昭夫・柿本大壱

Change of the Chemical Constituent of "Katsuwobushi" by *Aspergillus ruber* and *Aspergillus repens*

Akio KANAZAWA and Daiichi KAKIMOTO

In this paper authors explained the chemical changes of Katsuwobushi by *Aspergillus* spieces.

1) Excepting the fat decreasing, notable changes were not recognized in general constituent.

2) In the free amino acid in Katsuwobushi, in spite of decreasing the mono amino acid and lysine, acidic amino acids, glycine proline, and serine were increased by these organisms.

緒　　言

カツオ節はカツオの鮮肉に煮熟，焙乾，日乾及びカビ付等の操作を施しながら，数十日を費して製造する我国特有の水産製品で，古くから調味料として珍重されている。このうちカビ付の意義については，二，三挙げられているが何れも明確なものではなく，特にこの操作によって起る製品の化学変化については研究者によって可成り相違があるようである。即ち山川，山本[1]は焙乾肉と本枯節を比較した結果，乾物量，全窒素には変化を認めないが，水分，蛋白質，モノアミノ酸は前者より後者が減少し，ジアミノ酸特にヒスチジンは逆に増加することを報告し，節製造工程による化学成分の変化の一端に触れている。更に西村，木村[2]は工程中焙乾までを同一にした試料についてカビ付による変化を検べた結果，全窒素，蛋白態窒素，有機塩基窒素，モノアミノ酸，灰分，アンモニア等何れも差異はなく，水分，脂肪の含有量がカビ付により減少することを認めた。又須山[3]の報告ではカビ類のリパーゼがカビ付の結果作用し脂肪を加水分解することを証明している。以上の如くカビ付は単に水分を減少せしめ脂肪を分解するのみとされているが，これらによってカツオ節の品質が著しく向上すると見做すには根拠に欠けるようであるので，著者等は主として従来まで論議されている呈味成分をカビ付の有無により分析し，これにより二，三の知見を得たので以下記載することにする。

実　験　方　法

1. 試　　料

1956年4月鹿児島県枕崎に於て水揚されたカツオの同一工程で製造したカビ付直前の雄節，雌節各10本を細挫して粉末状とし，良く混和して試料とした。この試料を 300cc の三角フラスコに 15g 宛とり，綿栓して15ポンド，5分間殺菌し，あらかじめ斜面培養したカツオ節カビを無菌的に接種し，30°C に 40 日間培養した後再び前記同様の殺菌を施したものを分析に供した。なお使用したカツオ節カビは兵庫農科大学吉村貞彦教授が優良カビとして分離した *Aspergillus ruber*, *Aspergillus repens* 各6種計12種類を用いた。

2. 一 般 分 析

常法により水分，灰分，粗脂肪，全窒素，蛋白態窒素，アミノ態窒素，アンモニアを測

※ 本研究は昭和31年度日本水産学会秋期大会（31年10月，広島）にて発表した。

定し特に味覚に関係あると思われるアミノ酸類は Bioassay によって測定した。

3. 遊離アミノ酸の定量

前項の如くカビ付の終了した試料 2g に 50cc の水を加え，沸騰浴上で30分間加温した後，室温に放冷し，これに10%タングステン酸ソーダ液 5 部，0.6N 硫酸 7 部の混液[4] を加えて除蛋白し全容 100cc にして低温に保存し，定量時に適宜稀釈し Bioassay により測定した。

実験結果及び考察

Asp. ruber, *Asp. repens* 各々6種類計12種のカビ付によって起る一般成分の変化は Table. 1 及び 2 の通りである。この結果によると水分及び脂肪含量は或る日数の経過によって変化

Table 1.　カビ付 (*Aspergillus ruber*) によるカツオ節の一般成分の変化　(%)

組成	カビ付前	カビ付後						
		対照※	*Asp. ruber* 接種					
			No. 1※※	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6
水分	20.00	15.30	15.40	15.00	14.60	13.60	14.50	14.80
灰分	3.30	3.40	3.40	3.40	3.80	3.80	3.60	3.20
粗脂肪	4.85	5.00	1.35	1.35	1.00	1.25	1.70	1.95
全窒素	12.67	13.28	10.52	12.26	12.47	12.93	13.22	10.98
蛋白態窒素	9.85	11.04	10.77	11.01	11.07	11.03	10.83	10.72
遊離アミノ態窒素	0.112	0.128	0.152	0.111	0.146	0.117	0.122	0.108
アンモニア態窒素	0.081	0.090	0.135	0.132	0.115	0.125	0.110	0.090

※ カビ付せず 30°C に40日間 incubate したもの
※※ *Asp. ruber* No. 1 を接種して 30°C に40日間 incubate したもの (No. 2 以下同じ)

Table 2.　カビ付 (*Aspergillus repens*) によるカツオ節の一般成分の変化　(%)

組成	カビ付前	カビ付後						
		対照※	*Asp. repens* 接種					
			No. 1※※	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6
水分	20.00	15.30	16.50	17.00	17.00	16.80	16.52	15.90
灰分	3.30	3.40	3.20	3.20	3.40	3.40	3.00	3.40
粗脂肪	4.85	5.00	1.50	1.45	1.70	0.50	0.90	1.00
全窒素	12.67	13.28	12.33	12.11	12.24	12.11	11.37	12.36
蛋白態窒素	9.85	11.04	10.89	10.77	10.97	11.07	10.71	9.30
遊離アミノ態窒素	0.112	0.128	0.153	0.118	0.135	0.142	0.113	0.138
アンモニア態窒素	0.081	0.090	0.121	0.158	0.125	0.130	0.168	0.110

※ カビ付せず 30°C に40日間 incubate したもの
※※ *Asp. repens* No. 1 を接種して 30°C に40日間 incubate したもの (No. 2 以下同じ)

を示しているが，このうち水分はカビ付による影響とは思われない。このことはカビ付をしなくとも同温，同日数のカビ付したものと同程度減少していることから明らかである。脂肪は山川，山本等の研究と同様にカビ付後約 1/4 量に減少している。その他の成分，即ち灰分，全窒素，蛋白態窒素，アミノ態窒素，アンモニアには殆んど変化がなく，又 *Asp. ruber*,

Asp. repens の如くカビの種属による相違はみられなかった。

次にカツオ節中の遊離アミノ酸を定量したが，試料は前記同様カビ付前後のものを比較した。Table 3 はその結果を表示したものである。カビ付前の節ではヒスチジン，リジン，

Table 3. カビ付 (*Aspergillus ruber* 及び *Aspergillus repens*) による
カツオ節の遊離アミノ酸の変化 (乾物に対するmg%)

アミノ酸	カビ付前	カビ付後											
		※	*Aspergillus ruber* 接種						*Aspergillus repens* 接種					
		対照	※※ No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6
グリシン	41.2	44.4	79.1	78.1	76.2	65.0	71.2	57.5	115.5	65.4	73.0	97.3	63.8	57.0
アラニン	48.7	54.9	25.1	49.3	19.0	17.4	14.8	19.4	29.4	18.0	29.1	38.7	54.9	46.6
バリン	37.5	32.8	12.2	12.5	19.1	13.4	16.1	14.0	15.0	16.5	18.0	10.8	12.3	13.4
ロイシン	33.7	34.5	41.4	42.3	32.9	38.9	30.5	39.7	37.3	20.4	43.1	16.0	28.2	14.4
ゼリン	23.7	22.6	28.2	30.0	23.4	24.8	21.5	26.4	31.9	30.7	22.8	27.6	36.0	39.2
トレオニン	42.6	49.0	36.2	25.2	25.1	49.7	24.8	35.1	30.7	21.9	15.4	37.7	38.3	14.8
メチオニン	31.2	29.0	14.7	14.5	15.9	8.5	14.3	11.7	26.1	15.0	12.8	24.4	10.7	12.3
シスチン	1.2	1.2	0.8	1.3	0.8	1.2	1.2	1.1	0.8	1.2	1.3	1.2	1.4	1.2
アスパラギン酸	11.6	17.5	29.1	29.5	30.3	31.2	33.2	31.1	23.0	38.2	35.0	36.8	38.9	31.2
グルタミン酸	62.5	59.0	113.6	105.1	85.3	64.9	67.0	82.4	90.7	91.0	84.3	93.3	110.3	108.0
フエニールアラニン	22.4	20.8	12.5	12.8	14.3	15.6	13.2	12.9	12.7	9.9	11.7	14.0	12.6	13.7
チロジン	13.5	15.0	17.9	18.9	14.7	18.8	14.7	18.1	21.9	19.4	19.7	23.0	19.8	12.8
プロリン	32.5	41.5	53.3	42.8	53.2	34.5	41.7	45.1	54.2	40.9	48.0	54.1	42.0	52.8
トリプトファン	11.8	11.6	11.4	9.4	14.7	11.0	9.7	8.8	7.8	9.0	11.7	9.3	10.4	11.4
アルギニン	22.6	21.0	22.1	18.0	18.6	17.7	13.0	18.0	26.5	17.8	16.8	18.1	21.0	22.5
リジン	81.2	83.5	59.5	62.6	43.3	36.1	39.4	56.3	38.2	35.8	43.3	49.5	60.2	62.5
ヒスチジン	75.6	82.9	80.6	74.5	81.0	61.2	79.6	74.5	72.3	68.4	69.9	67.2	74.7	77.3

※ カビ付せず 30°C に40日間 incubate したもの

※※ *Aspergillus ruber* No. 1 を接種して 30°C に40日間 incubate したもの (No. 2 以下及び *Aspergillus repens* も同じ)

及びグルタミン酸が多く，チロジン，トリプトファン，シスチン等が少ない。この量的関係はカツオ肉の分析値と類似している。然るにカビ付すると，量的関係が明らかに変化して来ることが認められる。即ち塩基性アミノ酸中ヒスチジン，アルギニンにはあまり変化がないが，リジンは明らかに減少を示し，著しいものでは半量以下になる。酸性アミノ酸ではグルタミン酸，アスパラギン酸特に前者はカビ付によって著しく増加するがこれに対し，アラニン，バリン，メチオニン，トレオニン，フェニールアラニンなどは減少し，之等モノアミノ酸中グリシンのみがグルタミン酸に匹敵するほど顕著な増加を示し更にプロリン及びゼリンも増加の傾向が認められる。以上述べたようにカビ付によってカツオ節の遊離アミノ酸の分布に複雑な変化が見られるが，呈味アミノ酸のうち味の強いグルタミン酸とグリシンが顕著に増加することは呈味の向上に大きく影響しているものと考えられる。尤もこれはいわゆる優良カビを用いてカビ付を行った場合とカビ付を行わないものとの比較であって，不良種と言われているものを用いてカビ付を行った場合アミノ酸分布に如何なる変化が起るかの重要問題が将来に残されているわけである。

摘　　要

カツオ節製造工程中カビ付による節成分の変化を検べた結果次のことを知った。

1. 一般成分中脂肪を除いてはカビ付による変化が認められない。脂肪は概ね1/4程度に減少する。

2. *Asp. ruber*, *Asp. repens* を用いてカビ付を行うと酸性アミノ酸特にグルタミン酸及びグリシンに顕著な増加が見られ，更にプロリン，ゼリンも増加の傾向を示したが，アラニン，バリン，メチオニン，トレオニン，フエニールアラニンなどは減少した。

終りに臨み本研究を行うに当り種々御指導を賜った柏田研一教授，実験の援助を頂いた小野原勝男氏に厚く御礼申し上げる。

文　　献

1) 山川，山本：水講報告，**8**，(16) (1913).
山川：水講報告，**10**，(3) (1914).
2) 西村，木村：水講報告，**8**，(1) (1912).
3) 須山：日水誌，**14**，254 (1949).
須山：日水誌，**15**，327 (1949).
須山：日水誌，**15**，793 (1950).
4) P. E. Schurr, H. T. Thompson, L. M. Henderson and C. A. Elvehjem : *J. Biol. Chem.*, **182**, 29 (1952)

魚肉に対するCl^{36}の挙動*

高田幸二・斉藤要・日高富男

Studies on the Behaviour of Cl^{36} for Fish Meat

Kozi TAKADA, Kaname SAITŌ and Tomio HIDAKA

In this paper, the authors dealt with the behaviour of Cl^{36} and F. P. for mackerel meat. The results was summarized as follows.

1. Cl^{36} and F. P. were easily adsorpted by the soluble protein of meat, the adsorption capacity of which to the F. P. was perceived to be for more effective than to Cl^{36}, while a considerable difference was observed in the adsorption curve of the two substances.

2. In case of the mackerel meat being immersed in the salt water containing Cl^{36}, the amount of NaCl in the meat increased almost proportionally with the radioactivity of Cl^{36}. The possibility, under some conditions, of Cl^{36} using as tracer of NaCl was also ascertained.

緒　　言

著者等は前報[1)2)]までに放射能汚染魚について研究すると同時に Fission Product（以下 F.P. と略記）の魚肉に対する挙動について検討を加えたが，各種放射性元素の魚肉に対する挙動はその種類によっても相違する事が充分考えられるところである。今回の実験においては F.P. の外に Cl^{36} を用い，これら放射性物質の魚肉に対する吸着性を比較検討すると共に，魚肉の塩漬に Cl^{36} を混入した塩水を用いて NaCl と Cl^{36} の魚肉への滲透状況を観察したところ若干の知見を得たので報告する。

実 験 方 法

1. 放射性物質

F. P.: Oak Ridge, National Laboratory 製のもので Batch No. 27, Nitrates in HNO_3 Soln. である。

Cl^{36}: The Radiochemical Centre Amersham, England 製の 1.6N Hydrochloric acid 型で，純度99%以上のものであり，NaOH で中和して使用した。

2. 放射能測定　使用計器は科研製 Model 100 であり，放射能測定の試料は乾物として試料皿に 500mg を秤取して，試料台最上段（マイカ窓より 10mm）にて5分間測定し，count は魚肉の場合は g. 凝固蛋白では 100mg 当りの値で示した。

3. NaCl の定量　魚肉中の NaCl は常法の如く熱水抽出し $AgNO_3$ 沈澱滴定法にて定量した。

実験結果及び考察

I 放射性物質の魚肉への移行

1. F.P. 及び Cl^{36} の魚肉水溶性蛋白への吸着

放射性物質の魚肉蛋白への吸着の条件は前報[1)2)]同様 20cpm/cc の放射能液を作り，之に

* 本報告は昭和32年10月，日本水産学会秋季大会（函館）にて発表した。

魚肉の蛋白を加えて所定濃度とし，30分後 100°C で 5～10 分間加熱して蛋白質を熱凝固せしめ，凝固物と濾液とに濾別しそれぞれ乾物として放射能強度を測定した。F.P. を含む溶液から魚肉蛋白への吸着は水溶性蛋白区分に顕著である事を知っているので，今回はサバ肉水溶性蛋白について実験した。吸着率と蛋白単位量当りの count 数とを図示すれば Fig. 1の如くである。

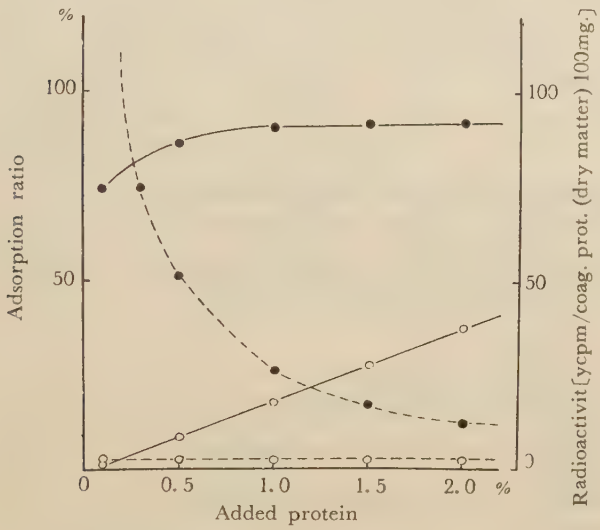


Fig. 1　Radioelements adsorption in F.P. and Cl^{36} solution by heat coagulation of water soluble protein of mackerel meat.
Radioactivity of F.P. and Cl^{36} (HCl-form) solution: 20cpm/cc.
— Adsorption ratio (%)
..... Count of coagulated protein
● Fission Product
○ Cl^{36}

図によれば F.P. は Cl^{36} に比し魚肉蛋白に対する被吸着能は大きい。しかも蛋白質添加量の増減に伴う吸着率の変化は小さく，蛋白添加量が少なくてもその割には吸着率は大であり，又蛋白添加量が 1 %以上ではその被吸着能には殆んど差がみられない事が明らかである。従って加えられた蛋白の単位量当りの放射能強度は蛋白が低濃度である程大きく，高濃度になる程小さくなる。これに対し Cl^{36} の被吸着能は蛋白添加量に略々比例して増加し，加えられた蛋白量が種々の濃度であっても或る範囲内の濃度では蛋白単位量当りの Cl^{36} の放射能強度は略々一定していた。

2.　Cl^{36} の魚肉への滲透

Cl^{36} を含む放射能強度 250 cpm/cc の放射性溶液を作り，之に新鮮なサバの肉塊（約 $3cm^3$）を 25°C において浸漬して時間経過に伴う浸漬肉の放射能強度の変化を測定した。所定時間毎に浸漬した肉塊をとり出し各稜について三等分して27個の小肉塊（約$1cm^3$）に分割し，浸漬肉の中心にあって直接外液に接しない小肉塊を〔0〕，1 面だけ液に接するものを〔Ⅰ〕，2 面を〔Ⅱ〕，3 面を〔Ⅲ〕と符号し，各々について放射能強度を測定した結果を Fig. 2 に示した。

これら浸漬肉塊の部位による放射能強度の変動を観察すれば浸漬の初期は肉塊の外側にある部位〔Ⅲ〕程 count 数は多い。又浸漬時間に伴い各部位の count 数は漸増し，しかも各部位の count 数の差は縮まり 48～50 時間後頃には内外部の count 数は略一致して以後平衡を保つ結果が得られた。この事より前報[2] で述べた如く F.P. は魚肉内への滲透が困難であるのに対し Cl^{36} では浸漬時間と共によく滲透することが認められた。

II.　塩水に混合した Cl^{36} の塩漬肉への滲透

魚肉を塩漬した場合，魚肉に対する NaCl の挙動を追究するために Cl^{36} を用いその放射性を利用して所謂トレーサー実験を試みた。

1.　塩漬肉への NaCl 滲透量と Cl^{36} による放射能強度との関係

Cl^{36} を含む放射能強度の異なる NaCl 20%の塩水に新鮮なサバ肉塊（約$3cm^3$）を約20°C

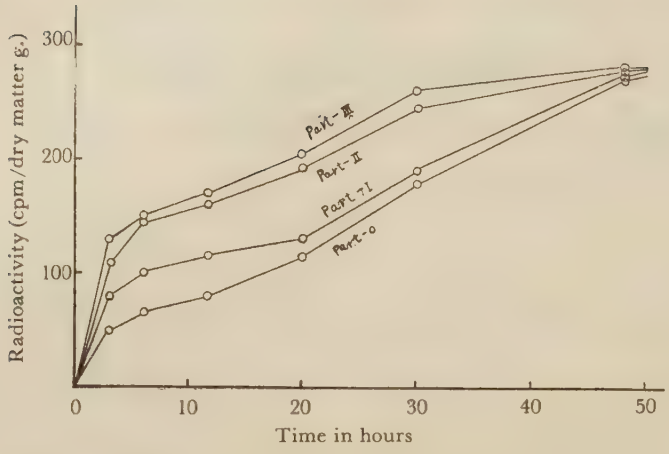


Fig. 2 Osmosis curve of Cl^{36} of mackerel meat. (at Ca. 25°C.)
Cl^{36} solution: Radioactivity 250 cpm/cc., Volume 200cc.,
Meat block : $3cm^3$
Part-0 : The interior part of meat block
Part-I : One side of the meat block contacted with the solution.
Part-II : Two sides of the meat block contacted with the solution.
Part-III: Three sides of the meat block contacted with the solution.

にて塩漬した場合の塩漬時間による NaCl 滲透量と放射能強度の変化について検討したがその結果は Fig. 3 の如くである。

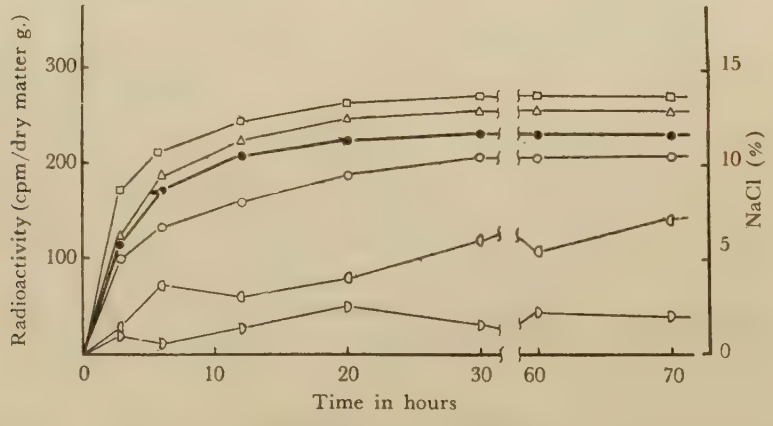


Fig. 3 Amount of NaCl and radioactivity of Cl^{36} in salted mackerel meat.
Salt water: NaCl 20%, temperature Ca. 20°C.
(Cl^{36} was employed with NaCl-form)
●: Amount of NaCl in salted meat
□: Count of meat, salted in the salt water with 300 cpm/cc.
△: 〃 250 cpm/cc.
○: 〃 250 cpm/cc.
◨: 〃 100 cpm/cc.
◫: 〃 50 cpm/cc.

この結果によればNaClの魚肉への滲透量は塩漬当初10時間頃まで急速に増加し，其の後30時間後までは徐々に増加するが，塩漬時間30時間以後には平衡状態に達する事が明らかである。一方塩水の放射能強度が 250cpm/cc 以上の場合における塩漬肉の count 数の変化は NaCl の滲透曲線と並行して変化する事が認められたのに対し，100cpm/cc 以下の塩水を用いた場合の塩漬肉ではその count 数の変化曲線は NaCl 滲透曲線と必ずしも比例的な関係を示さない。この原因は斯る低強度の放射性物質の量をこの種の計数器で追跡する場合，試料の放射能強度が弱ければ弱い程自然係数とか計数器での誤差が大きく影響して本来の変化を誤らせるためと考えられる。これらの事実は魚肉に対する NaCl の滲透過程を追究する手段として Cl^{36} をトレーサーとして利用し得ることと，その場合 Cl^{36} の添加量の吟味が必要なことを示している。

2.　塩水の NaCl 濃度を変えた場合の NaCl 滲透量と放射能強度との関係

前述のサバ肉を一定の放射能強度(250cpm/cc)を有する各種NaCl濃度の塩水中に約25°Cで塩漬した場合の NaCl 滲透量と放射能強度との関係について検討した結果を Fig. 4 に示した。

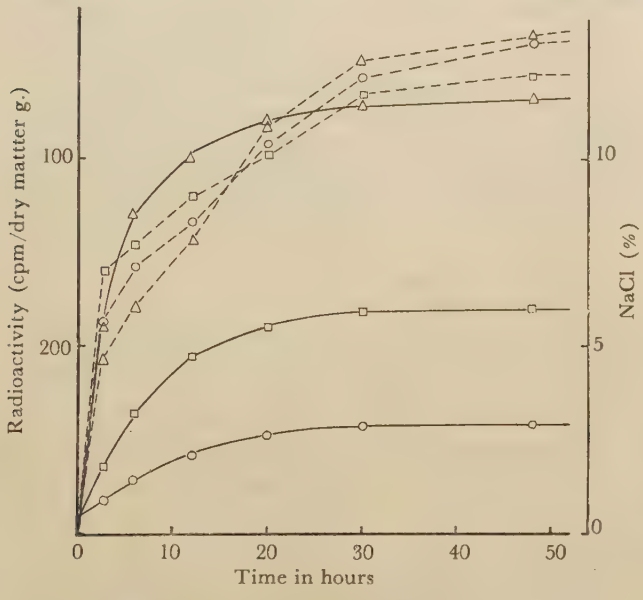


Fig. 4 Changes in amount of NaCl and radioactivity in salted meat by various concentration of NaCl in salt water. (at Ca. 25°C.)
Salt water: Radioactivity 250 cpm/cc.
(Cl^{36} was employed with $NaCl^{36}$)
—— Amount of NaCl in salted meat
····· Count of salted meat
○: Count of meat, salted in the salt water with Nacl 5%
□: 〃 10%
△: 〃 20%

この結果によれば塩水の NaCl 濃度5%,10%,20%の場合にはNaClの滲透量はFig.3にみられたと同様の傾向で増加し，塩漬後30時間頃に最高に達し以後平衡を保っている。又塩水の NaCl 濃度差により魚肉への NaCl 滲透量は異なり，NaCl 5%,10%,20%での塩漬肉内の NaCl 滲透量平衡値はそれぞれ 2.8%, 6%, 12% を示している。他方これら塩漬した魚肉の放射能強度の変動は，この様に Cl^{36} の放射能強度が一定であれば塩水の NaCl 濃度の大小にかかわらず塩漬時間の経過に伴いそれぞれ同様な傾向で増加し塩漬後48～50時間でその count は平衡に達する結果となっている。この事は一般的に Cl^{36} の放射能強度から直ちに NaCl 滲透量を考える事の不合理を示すものであり，使用した塩水中の NaCl 量に比べ Cl^{36} の量が極めて微量であることを考えれば当然の結果とも思われる。又塩漬魚肉の NaCl 滲透量を，トレーサーとして用いた Cl^{36} の放射能強度の変化によって知るためには充分吟味して定めれたら条件の範囲において可能である事を見出した。

要 約

F.P. と Cl^{36} の魚肉（サバ肉）に対する挙動を一定条件下で比較検討し次の結果を得た。

1. 魚肉の水溶性蛋白に対する吸着能は F.P. の方が Cl^{36} より極めて大きく，且つ両者の吸着曲線にはかなりの差異があることを認めた。

2. 魚肉を Cl^{36} 混合塩水で塩漬した場合塩漬肉の NaCl 滲透量と放射能強度との間に略々比例的な関係のある事を認め，魚肉を塩漬する場合所定の条件内では NaCl 滲透量を知るためのトレーサーとして Cl^{36} を利用し得る事を明らかにした。

終りに，本報告は昭和31年度文部省総合科学研究費（水産物に関する放射化学的研究）による業績の一部で，御支援を賜った当局，並に同研究班委員長，東京大学教授森高次郎先生に深謝の意を表する。

文 献

1) 斉藤 要・鮫島宗雄：本誌，**4**，124 (1955).
2) 高田幸二・西元淳一：本誌，**5**，190 (1956).

S^{35} の海藻への転移に関する研究–I*

斉藤要・鮫島宗雄・田中剛

Studies on the Uptake of S^{35} by Marine Algae–I

Kaname SATIO·Muneo SAMESHIMA and Takesi TANAKA

1) It was acertained that the S^{35} uptake curves of such marine algae as *Ulva pertusa*, *Hijikia fusiforme*, *Endarachine binghamiae* and *Porphyra suborbiculata*, were almost resemble to each other; but in the transferred amount some specific differences were observed.

2) The S^{35} uptake by *Ulva pertusa* was slower than in case of the fission products uptake by the same one; describing of the chief difference between behaviours of S^{35} and fission products, in case of former, almost no transference was observed in the algae lost its vitality, while in case of the latter, almost the same degree of trasference was observed irrespective of the vitality of the algae.

3) The amount of fission products uptake by marine algae was precived to be almost proportional with the surface dimension per weight of the algae, while in case of S^{35} such a considerable tendency was not observed.

4) It was acertained that *Ulva pertusa*, cultured in the sun, absorbed S^{35} for more rapidly and abundantly than those cultured in the dark place.

These phenomena might be occasioned by the following reasons; namely, the transference of fission products, having little or no relationships with the nuritious substances for algae, to the algae, was mainly based on the physical adsorption between the surface zone of the algae and the substances; while the uptake of S^{35}, one of the essential element for the growth of algae, was on the physiological absorption.

緒　　言

放射性同位元素を生体内に導入してその元素の生理作用を放射性によって明らかにせんとする，いわゆる tracer 実験は最近各種の生物について行われているが，海藻類を対象としたこの種の実験は少なく，わずかに SCOTT 氏[1)2)3)4)] が Cs^{137}, Ru^{106}, C^{14} 含有alanine 及び I^{131} 含有 iodoamino acid を，又 CHAPMAN 氏等[3)] が Cs^{137} 其の他を用いた報告を知る程度である。著者等は先に fission products（以下 F.P. と略記）を含む海水中に培養した海藻の放射能汚染状況を検討して，所定条件下における水産生物の単位量当りの放射能汚染は，海藻類が魚介類より速かであること，汚染度の強弱は藻体の単位重量当りの表面積並びに体表粘質物の量及び質に関係があって生活力の有無には殆んど無関係であること等を認め，F.P. による海藻類の汚染特に初期汚染は，生理的吸収現象というよりも主として F.P. と藻体成分との間の物理的吸着現象によるものと推論した。[5)]

ところで海藻類の生存に必要なる生元素の藻体への転移の様相は当然 F.P. とは異なるものと考えられる。そこで著者等な先ず S^{35} を用い藻体内での同元素の吸収，循環，分布，集結，排泄，さらに含硫黄成分の生合成等の現象を明らかにせんとして実験を進めているが，本報では S^{35} を含む海水中に数種の海藻を培養し，その転移状況を F.P. の場合と比較検討した結果を報告する。

実　験　の　部

供試海藻: いずれも鹿児島湾内の海岸において1956年4月から6月までの間に採集し

* 本報告は昭和32年10月，日本水産学会秋季大会（函館）にて発表した。

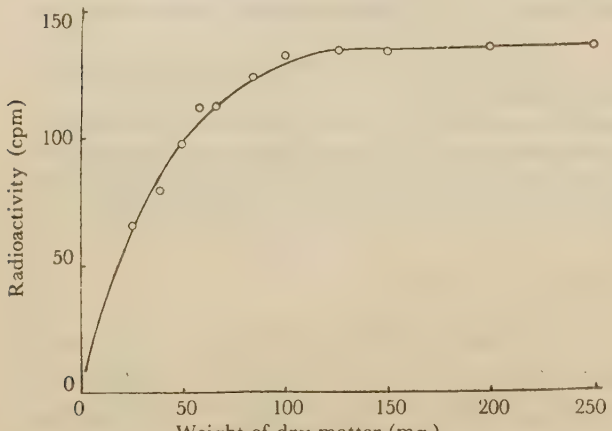
たものであって，その種類は次記の如くである。

緑藻類 アナアオサ *Ulva pertusa*
褐藻類 ヒジキ *Hijikia fusiforme*
〃 ハバノリ *Endarachine bighamiae*
紅藻類 マルバアマノリ *Porphyra suborbiculata*

S^{35} 含有海水の調製: 東洋濾紙 No. 2 で濾過した海水 4*l* を直径 30cm 約 5*l* 容のガラス製水槽にとり，これに S^{35}…S^{35} (P-1), Na_2SO_4 type in HCl solution, carrier free, assay on 31-5-1956 pH7……を加えて使用した。

F. P. 含有海水の調製: Oak Ridge 製 Batch No. 24, 4.3N HNO_3 solution, assay on 22-9-1955 を使用し，前記 S^{35} と同様に濾過海水に加えて調製した。両培養海水の持つ放射能強度については各実験の項に記載する。

測定試料の調製と使用 counter: 海藻試料は各回約 2g をとり水道水で附着する海水を洗い去り，濾紙にて水切り後約 80°C で電熱乾燥を行い，粉末としてステンレス製試料皿にとり測定したが，試料重量と測定値との関係を検討した結果は Fig. 1 の如くである。即ち 50mg 以下では大体比例的であるが，それ以上では自己吸収が大きくなり比例的関係は得られない。故に測定の規準量を一応 50mg とした。



Sample (*Ulva pertusa*), absorbed S^{35}, was counted in form of dry matter, and placed in a stainless steel dish, which having 2.5cm. of diameter and maintained 1.5cm. of distance from window of GM tube.

Fig. 1 Change in counts by self adsorption.

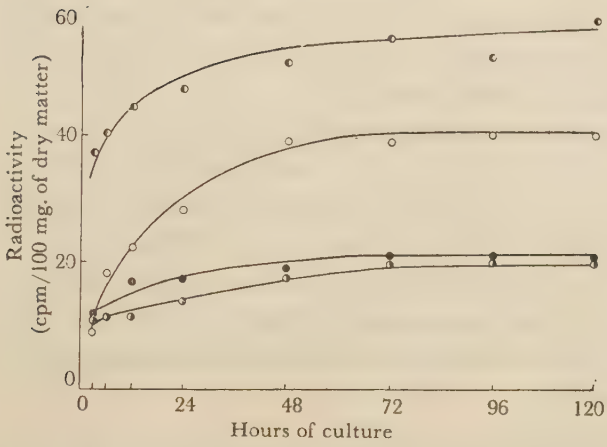
一方培養海水は駒込ピペットで 0.5cc を同試料皿にとり赤外線乾燥し測定に供した。

使用counterは科研製Model-100で測定台の最上段(マイカ窓よりの距離 1.5cm)にて計測し，海藻試料は乾物 100mg 当りの，又海水は 1cc 当りの countを net cpm として表示した。なお S^{35} の物理的半減期は 87 日であるが長期間(10日以上)の培養実験の場合にはこれを考慮した。

結果及び考察

S^{35} 転移曲線の種属的差異について

1,056 cpm/cc の S^{35} を含む海水 5*l* 中にハバノリ，アナアオサ，マルバアマノリ，ヒジキ各 25g を水温約 18°C で 1 日数回攪拌しつつ培養し，所定時間ごとに海藻へ転移した放射能を計測した結果を Fig. 2 に示した。これによると S^{35} の転移曲線は各試料共同様の傾向を示し，48～72時間で転移量はほぼ最高となり以後平衡状態を保つ結果となっている。又単位重量当りの S^{35} 転移量はハバノリが最も多く，アナアオサがこれに次ぎ，マルバアマノリ，ヒジキはハバノリの約 1/2 量であった。この様に S^{35} の転移量には外観上の形状



S^{35} was employed in form of Na_2SO_4 with a radioactivity of 1,056 cpm/cc. of culture water. Cultivation and counting standards in Fig. 2～5 were same to Fig. 1.

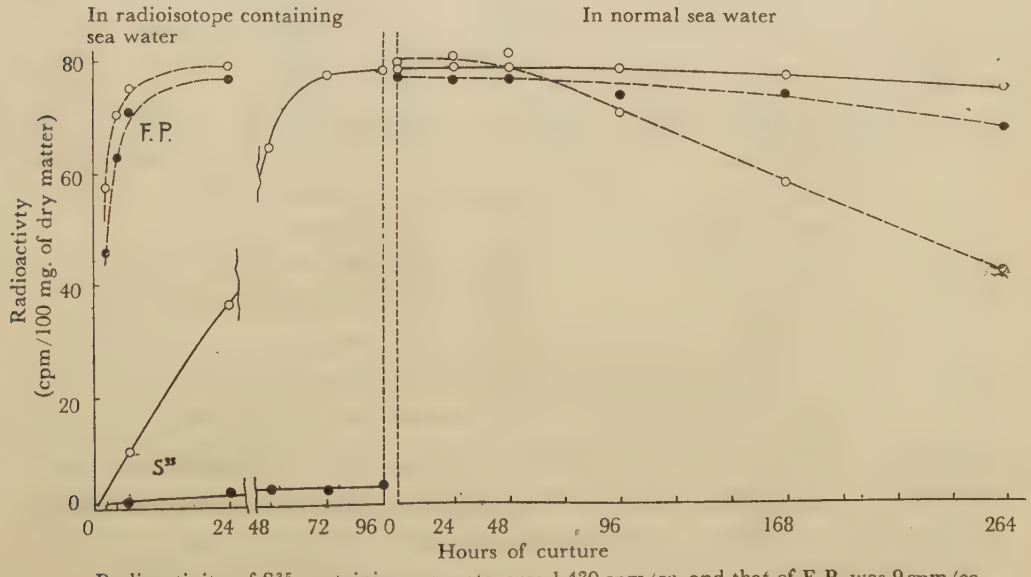
◐ *Enderachine bighamiae*
○ *Ulva pertusa*
● *Porphyra suborbiculata*
◑ *Hijikia fusiforme*

Fig. 2 S^{35} uptake by several species of algae (cultured at Ca. 18°C.)

が比較的類似した海藻間（ハバノリ，アナアオサ，マルバアマノリ）にも種属的差異が認められたが，その差異の程度はF.P.の場合[5]よりも大きいようである。

S^{35} とF.P.の生藻への転移曲線について

アナアオサについて得られた結果を示すとFig. 3の如くである。即ち1,430cpm/cc（約0.1μc/cc）の S^{35} を含む海水中において，藻体への S^{35} 転移は約72時間で最高となり，乾物10mg当り約80cpmを示す様になったが，F.P.含有海水中で之と同程度の放射能強度を示すアナアオサの乾物を得るには，9cpm/cc（約1mμc/cc）の海水中に6時間培養すれば充分である。即ち S^{35} の場合はF.P.の場合に較べ，約160倍のcountを持つ海水中に12倍の培養時間を要してはじめて同程度の放射能強度を有するアナアオサが得られるのである。この事実は S^{35} の藻体への転移が極めて遅くかつ弱いことを示している。



Radioactivity of S^{35} containing sea water was 1,430 cpm/cc. and that of F.P. was 9 cpm/cc..

○ Algae with vitality
● Algae lost vitaliy by exposed to sunlight

Fig. 3 Count-variation of *Ulva pertusa* cultured in radioisotope containing or normel sea water.

一方 S^{35} と F.P. が転移したアナアオサを正常海水に戻して培養を続けた場合の放射能強度の変化を Fig. 3 に併記した。この結果より明らかな如く，S^{35} の場合は F.P. に較べ10日後においても藻体からの転移は極めて緩慢であった。

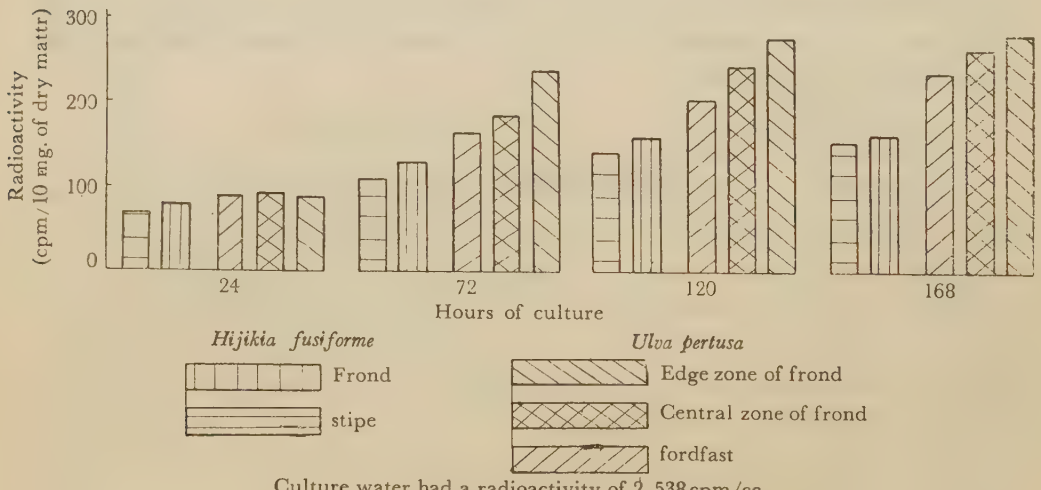
S^{35} と F.P. の生活機能を失つた藻体への転移曲線について

両物質の藻体への転移が生理的な吸収によるものか，あるいは単なる物理的吸着現象に類するものかを検討する一手段として，次に供試海藻を直射日光に約10時間当て生活機能を失わしめた藻体について，生藻と同様な条件で転移曲線を求めてみた。Fig. 3 にアナアオサについて得られた結果を併記した。これによれば生活機能を失った藻体への S^{35} 転移は殆んど起らなかったのに対し，F.P. の場合は生藻の場合と同程度の転移が行われていることが明らかである。またアナアオサ以外の海藻の培養実験においても，生活機能の低下したと思われる藻体への S^{35} 転移量は少ないことを確めている。

これらの事実より S^{35} の藻体への転移は主として生活現象に伴う生理的吸収に起因し，一方F.P. の転移は藻体成分との物理的吸着現象に類するものと考えるのが妥当のようである。

藻体の部位による S^{35} 転移量の差異

アナアオサ及びヒジキを2,538cpm/cc の海水中に培養し，藻体の各部位による S^{35} 転移量の差異について検討を行った。即ちアナアオサについては附着根に近い区分，葉体の中央部及び周縁部の3区分に，ヒジキについては茎部及び葉状部の2区分に分割し，所定時間ごとに count を測定した結果を Fig. 4 に示した。これによればアナアオサは附着根に



Culture water had a radioactivity of 2,538cpm/cc..

Fig. 4 Distribution of absorbed S^{35} in *Ulva pertusa* and *Hijikia fusiforme.*

近い区分が，またヒジキにおいては葉状部より茎部がやや多量の S^{35} を吸収したように見受けられるが，F.P. の場合[5]に明らかに認められたような藻体における部位の形状、特に単位重量に対する表面積の大小による差異はなかった。

オートラジオグラフ

海藻の種属によりそれぞれ特徴を有する生長点の問題，あるいは時期的に形態の変化する藻類にあっては，各時期における栄養塩類の吸収または細胞内外におけるその分布状況

を解明する上に，オートラジオグラフ法は興味ある実験法である。そこで著者等は S^{35} を吸収したアナアオサ及びヒジキの切片を作り，富士オートグラフ乾板（コニタクト用）を用いて検討を試みた，その結果，細胞内外における S^{35} の分布状況については明確な差異は認められなかった。この原因は藻体内における S^{35} の放射能強度が弱いことにもあると考えられるが，なお検討中である。

光線の S^{35} 吸収に及ぼす影響

同時に調製した2個の培養水槽を1個は通常通り窓際に近い明るい位置に置き，他の1個には黒色の遮光布をかぶせて暗所に置きアナアオサを培養したところ，Fig. 5 の如く明所に培養したものは，暗所のものに較べ多量の S^{35} を吸収することがわかった。この傾向は特に培養開始後比較的初期の24時間以内において著しかった。一般に植物は暗所より明所において代謝作用特に光合成が旺盛であることより，生元素である S^{35} の転移する速度及び量に，前述の如き差異の見られるのは当然の結果と思われる。またこの事実は有用海藻の最適培養条件を，放射性同位元素の利用により比較的簡単に判定し得る可能性を示唆している。

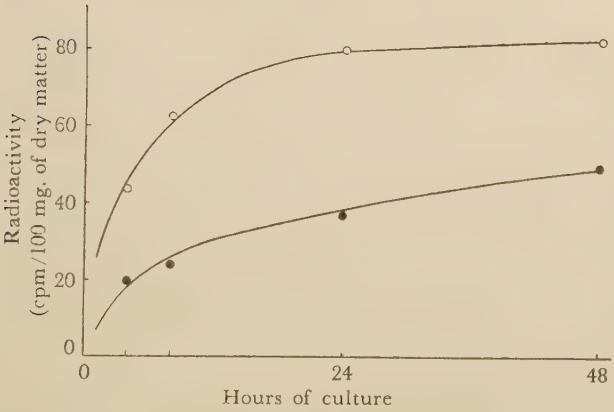


Fig. 5　Effect of sunlight on S^{35} uptake by *Ulva pertusa*.

要　　約

1）S^{35} 含有海水中で培養(水温約18°C)したハバノリ，アナアオサ，マルバアマノリ，ヒジキは，いづれもほぼ同様な S^{35} 転移傾向を示し，48～72時間で転移量は最高に達し以後は平衡状態を保ったが，その量には若干の種属的差異が認められた。

2）S^{35} の海藻への転移は F.P. の転移速度に較べ非常に遅く，両者間の最も異なる点は，F.P. が海藻の生活機能の有無にかかわらず同程度の転移量を示すのに対し、S^{35} は生活力を失った藻体へは殆んど転移しないことである。

3）F.P. の場合は同一藻体の部位による転移量の多少は，その部分の形状特に表面積の大小との間に密接な関係が存在するが、S^{35} ではそのような関係は顕著でなかった。

4）明所に培養した供試海藻は暗所で培養したものより S^{35} の転移速度が速く，かつ転移量が多いことを明らかにした。

5）前述の諸結果は，海藻の栄養生理に関連性の少ない F.P. の藻体への転移が，主として藻体成分との間の物理的吸着現象に類するものであるのに対し，重要なる生元素の一つである S^{35} の転移には，生理的吸収作用が支配的に関係することを示唆していると考えた。

終りに本報告は昭和31年度文部省総合科学研究費（水産物に関する放射化学的研究）による業績の一部である。記して謝意を表す。

文 献

1) SCOTT, R.: Institute of Seaweed Research, Aberdeen, Annual Report 1954, p. 33.
2) SCOTT, R.: ibid., Annual Report 1955, p. 38.
3) SCOTT, R.: Proc. Radioisotope Conference 1954, 1, 373 (Butterworth Scientific Publications, London).
4) SCOTT, R.: Nature, **173**, 1098 (1954).
5) 斉藤 要・鮫島宗雄: 鹿児島大学水産学部紀要, **5**, 196 (1956).

昭和33年3月10日印刷
昭和33年3月15日発行

編集兼
発行者　鹿児島大学水産学部
鹿児島市下荒田町470

広島市空鞘町111
印刷者　増田訓清
印刷所　大学印刷株式会社
電話　西③7660番

NOTICE

This Journal is issued annually; about 400 pages make up each volume.
All communications relating to this Journal should be addressed to:
The Committee of the Journal,
The Faculty of Fisheries and Animal Husbandry,
Hiroshima University,
Fukuyama, Japan.

Committee of the Journal for 1956;
Prof. Sunao INUMARU (*Botany*)
Prof. Yuzo ANAGAMA (*Dairy Technolory*)

昭和31年12月20日印刷　　昭和31年12月25日発行

非売品

広島県福山市外深安町津之下
編集兼発行者　廣島大学水畜産学部

広島市空鞘町一一一
印刷所　大学論文印刷研究所　印刷者　増田訓清
電話西③0766番

CONTENTS

1. Micro-meteorological Observations and Studies over the Sea..... Tadao TAKAHASHI 1
2. A Physical Treatment on the Accumulated Materials of the Annual Temperature Variation in Lakes and Ocean ....Tadao TAKAHASHI... 47
3. An Example of Three-dimensional Records of Fish-school attracted by Underwater Lamps..... .....Toshiro KUROKI and Michio CHUMAN (of blessed memory)... 77
4. On the Projetor of a Pipe-harpoon and its Cable-rope for Electrical Whale-catching .... Toshiro KUROKI and Yoshikazu NARASAKO... 82
5. Fundamental Studies on the Relation between Underwater Sound and Fish Behaviour (II) ..... Toshiro KUROKI... 89
6. Studies on the Fluorescent Color-lamps for Attracting of Fish –Characteristics of these Color-lamps and their Comparisons with Incandesent-lamps– .... Toshiro KUROKI and Hiroshi NAKAYAMA... 95
7. On the Kagoshima University Large-sized Experiment-tank Consisted of Twin Symmetric Elliptical Circuits..... .....Yoshikazu NARASAKO and Masazi KANAMORI... 99
8. A Comparative Research on the Discrepancy Observed in the Resistance-Test done with the 2 Different Types of Tank-the Circulating and the Towing-Under the Use of the Identical Fishing Vessel.....Yoshikazu NARASAKO...106
9. Studies on the Relation between the Fluctuation in Catch and the Environmental Factors of the Principal Fishes in Kagoshima Bay (III)—On young Mackerel— Toyotaka TANOUE.....109
10. Studies on the Smoked Fish –The Amount of Formaldehyde in the Smoked Fish–.....Michitoshi OCHI...115
11. Rapid Determination of Proteins in Fish Muscle through Biuret Reagent (I) –Acceleration of Color Reaction and Removal of Turbid Substances Yielded in the Color Solution– .... Zentaro OOSHIRO...119
12. Rapid Determination of Proteins in Fish Muscle through Biuret Reagent (II) –An Application for Direct Determination of Protein in Solid Sample– ..... Zentaro OOSHIRO...125
13. Bacteriological Research on the Cold Storage (I)..... .....Kozi TAKADA and Takeyasu UCHIYAMA...128
14. On the Formation of Amine in Fish Muscle (V) –Influence of Temperature on the Formation of Histamine in Fish Muscle (2)– .....Fuyuo OTA and Kosuke KANEKO...134
15. On the Formation of Amine in Fish Muscle (VI) –Influence of Seasonings on the Formation of Histamine in Fish Muscle–..... .....Fuyuo OTA and Toshikatsu HAENO...139
16. Change of the Chemical Constituent of "Katsuwobushi" by *Aspergillus ruber* and *Aspergillus repens*..... ..... Akio KANAZAWA and Daiichi KAKIMOTO...144
17. Studies on the Behaviour of Cl^{36} for Fish Meat ....Kozi TAKADA, Kaname SAITŌ and Tomio HIDAKA...148
18. Studies on the Uptake of S^{35} by Marine Algae (I)..... .....Kaname SAITŌ, Muneo SAMESHIMA and Takesi TANAKA...153